

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
DE AREQUIPA**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA**



**ZONIFICACIÓN DE SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE CARAPONGO
(LIMA METROPOLITANA), APLICANDO MÉTODOS SÍSMICOS Y
GEOTÉCNICOS**

*Tesis presentada por el Bachiller en
Ciencias Geofísicas:*

DUEÑAS GALDOS, RUBEN DARIO

*Para optar el Título Profesional de
INGENIERO GEOFISICO*

*AREQUIPA - PERÚ
2014*

DEDICATORIA

A mis queridos padres por su amor, entrega, sacrificio y su incansable apoyo; se los debo todo a ellos.

A mis hermanos, porque aprendí mucho de ellos en su compañía y fueron mis primeros amigos en el camino de la vida.

A mi compañera, que estuvo conmigo siempre brindándome su apoyo y su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a Dios por ayudarme y estar siempre conmigo, por darme una nueva oportunidad y por todos los momentos felices junto a mis seres queridos.

El presente estudio se realizó con el apoyo del INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (IGP), y principalmente agradecer al Área de Sismología.

A mi asesor de tesis, Director del Área de Sismología Dr. Hernando Tavera por sus conocimientos compartidos, su experiencia, su paciencia y su motivación para que yo pueda culminar la tesis tan anhelada.

A los Ingenieros Armando Minaya Lizárraga, Edgar Gonzales Zenteno, Jorge A. Soto Vásquez, Orlando Macedo, Javier Ticona Paucara y Sebastián Zúñiga Medina por las enseñanzas y experiencias compartidas en las aulas.

De igual manera agradecer al Ing. Fernando Orosco Torres, Gerente General de A.C.I. Asesores y Consultores de Ingeniera, por sus enseñanzas compartidas y acertados consejos y apoyarme en la realización de mis prácticas pre-profesionales y a los compañeros geofísicos y topógrafos por su buena amistad.

También agradecer al Ing. Ricardo Peláez Mc Evoy, Gerente General de Soluciones de Geofísica Aplicada S.G.A. y al Gerente de Operaciones Miguel Uribe VDG del Perú S.A.C. por el apoyo que me brindaron, los consejos, las buenas relaciones personales y todo lo aprendido.

A mis compañeros del área de sismología (IGP) que durante este tiempo compartí gratos momentos: Cristóbal, Juan Carlos, Liliana, Patricia, Julio, Isabel, Hernán, Lucy, Estela, Renzo, Marta, María, Katia, Sheila, Kelly, Christian, Fabiola, Rider, la señora Consuelo y los señores Henry Salas, Efraín Fernández, José Millones y Simeón Rodríguez.

A mis amigos de la universidad con los cuales compartí muchos momentos inolvidables, sueños y aliento de seguir adelante a todos ellos muchas gracias.

RESUMEN

En este Estudio se analiza y tipifica los suelos de la Zona Urbana de Carapongo (Distrito de Lurigancho-Chosica) aplicando los Métodos de Nakamura (H/V), Refracción Sísmica (Método Masw) y Geotecnia. Este Estudio es parte del proyecto financiado por el MEF “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico”. El estudio permite conocer el Comportamiento Dinámico del Suelo a fin de obtener el mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de Carapongo.

El registro de Ruido Ambiental (sin usar fuentes de energías), la aplicación de técnicas geofísicas y el modelado interactivo de la curva de dispersión de las Ondas Superficiales, han sido utilizados para conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos de Carapongo en base a la Norma E-030 de construcción en el Perú. Estos métodos fueron correlacionados con la Geología, Geomorfología y Análisis Geotécnico obteniéndose como resultado en el Área Urbana de Carapongo tres (3) Zonas Sísmicas-Geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S3.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el Área Urbana de Carapongo constituye como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio, por lo tanto; es de importancia este documento para proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.

ÍNDICE
*Agradecimientos**Resumen**Índice*
**CAPÍTULO I
GENERALIDADES**

1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	3
1.4 Ubicación del Área de Estudio	4
1.5 Accesibilidad	6
1.6 Trabajos Anteriores	7

**CAPÍTULO II
GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEODINÁMICA**

2.1 Geología Regional	9
2.1.1 Geomorfología	9
2.1.2 Estratigrafía	10
2.1.3 Rocas Intrusivas	13
2.2 Geología Local	15
2.2.1 Generalidades	15
2.2.2 Aspectos Geológicos	15
2.2.2.1 Grupo Casma	17
2.2.2.2 Súper Unidad Patap	18
2.2.2.3 Depósitos Cuaternarios	20
2.3 Aspectos Geomorfológicos	20
2.3.1 Quebradas	21
2.3.2 Terrazas	21
2.3.3 Colinas	21
2.3.4 Laderas de Pendiente y Media Empinada	22
2.4 Aspectos Geodinámicos	24
2.4.1 Flujos de Detritos	24
2.4.2 Caídas de Rocas	26
2.5 Inundaciones	27

**CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO**

3.1 Introducción	31
3.2 Conceptos Básicos de la Teoría de Ondas	34

3.2.1 Series de Tiempo y Transformada de Fourier	34
3.2.2 Velocidad de Grupo y Velocidad de Fase	35
3.2.2.1 Velocidad de Grupo	35
3.2.2.2 Velocidad de Fase	35
3.3 Tipos de Ondas Sísmicas	36
3.3.1 Ondas Corpóreas	36
3.3.1.1 Ondas P	36
3.3.1.2 Ondas S	37
3.3.2 Ondas Superficiales	38
3.3.2.1 Ondas Rayleigh	38
3.3.2.2 Dispersión de Ondas Rayleigh	39
3.4 Método de Nakamura (H/V)	40
3.4.1 Microtremores	40
3.4.2 Cocientes Espectrales H/V	41
3.4.3 Ventajas del Método	44
3.5 Método Sísmica de Refracción (MASW)	45
3.5.1 Adquisición de Datos	45
3.5.2 Técnica MASW	46
3.5.3 Curva de Dispersión	48
3.5.4 Inversión de la Curva de Dispersión	49

CAPÍTULO IV

NORMA SISMORRESISTENTE

4.1 Antecedentes	50
4.2 Condiciones Locales de Sitio	51
4.3 Condiciones Mecánicas-Dinámicas del Suelo Norma E-030	52
4.3.1 Suelos muy rígidos (Tipo S1)	52
4.3.2 Suelos intermedios (Tipo S2)	53
4.3.3 Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3)	53
4.3.4 Condiciones excepcionales (Tipo S4)	53

CAPÍTULO V

MÉTODOS SÍSMICOS EMPLEADOS

5.1 Generalidades	56
5.2 Técnica H/V	56
5.2.1 Descripción del Método	56
5.2.2 Equipo Empleado	57
5.2.3 Procesamiento de Datos	59
5.2.4 Distribución de Frecuencias Predominantes	63
5.3 Técnica de Arreglos Lineales (MASW)	75
5.3.1 Equipo Empleado	75

5.3.2 Procesamiento de Datos	77
5.3.3 Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Lineales (MASW)	77
5.3.3.1 Arreglos Lineales LR01-CAR y LR02-CAR	83
5.3.3.2 Arreglo Lineal LR03-CAR	83
5.3.3.3 Arreglo Lineal LR04-CAR	87
5.3.3.4 Arreglo Lineal LR05-CAR	87

CAPÍTULO VI

MÉTODOS GEOTÉCNICOS

6.1 Generalidades	90
6.2 Clasificación de Suelos	90
6.2.1 Clasificación General de Casagrande Modificada (SUCS)	91
6.3 Calicatas	93
6.3.1 Calicatas Realizadas en el Área de Estudio	94
6.4 Capacidad Portante de los Suelos	99
6.4.1 El Ensayo de Corte Directo	101

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1 Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica	104
---	-----

CONCLUSIONES	107
---------------------------	-----

RECOMENDACIONES	109
------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	110
---------------------------	-----

ANEXO 1: Calicatas

ANEXO 2: Inventario de Eventos Geodinámicos

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde épocas remotas, las ciudades de Lima y Callao han sido sometidas a una serie de sismos de gran intensidad, produciendo cuantiosos daños materiales y pérdidas de vidas humanas. La principal fuente generadora de eventos sísmicos que afectan a la región, es la zona de subducción, definida por la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana. Esta fuente puede generar eventos de gran magnitud y según su historia sísmica pueden alcanzar los 8.2 grados en la escala de Magnitud Momento (Mw). Los efectos de estos movimientos telúricos se ven incrementados por las diferentes condiciones de sitio que se presentan en los distritos que conforman la ciudad de Lima y Callao, tal como se ha podido observar durante la ocurrencia de terremotos pasados.

Dentro del Proyecto Presupuestal por Resultados: “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó el Proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica” y como parte del mismo, la Dirección de Sismología desarrolla la Actividad “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Carapongo, distrito de Lurigancho-Chosica, Lima.

Históricamente, la Región Central del Perú ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos que han generado altos niveles de intensidad y al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante conocer el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana (Tavera 2013).

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las áreas urbanas y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no existe suelo malo y que solo se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo (Tavera 2013).

Finalmente, remarcar que el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica permite conocer las características dinámicas del suelo y se constituye como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio.

El presente estudio ha sido estructurado en siete capítulos que se detallan a continuación:

El Capítulo I, está constituido por la introducción, la justificación, los objetivos así como ubicación, accesibilidad y trabajos anteriores.

El Capítulo II, se describe la geología regional, local, los aspectos geológicos, geomorfológicos y geodinámicos, grupos y formaciones de toda el área de estudio también las zonas vulnerables a inundaciones.

El Capítulo III, se describe el marco teórico conceptual, conceptos básicos de la teoría de ondas, tipos de ondas sísmicas, el método de Nakamura H/V y el método sísmica de refracción (MASW).

El Capítulo IV, se describe la norma Sismorresistente E-030 y condiciones locales de sitio.

El Capítulo V, se desarrolla la adquisición, procesamiento e inversión de los métodos sísmicos empleados como son la técnica H/V y la técnica de arreglos lineales (MASW).

El Capítulo VI, se describe y analizan los métodos geotécnicos utilizados como son calicatas (clasificación modificada de Casagrande SUCS) y capacidad portante de los suelos.

El Capítulo VII, Análisis e Interpretación se muestra los resultados obtenidos como el principal objetivo a desarrollar: El mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica.

Finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones sobre el estudio realizado para el Área Urbana de Carapongo distrito de Lurigancho-Chosica.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La investigación de la caracterización de sitio que presenta el suelo es de especial interés y debe ser la primera parte de cualquier evaluación de amenaza sísmica. El empleo de métodos pasivos basados en el ruido ambiental, o microtremores, representa una excelente opción por su sencillez tanto en la parte experimental, como en el procesamiento de la información.

La evaluación de la respuesta sísmica de los terrenos es hoy en día, esencial para la futura planificación urbana de la región. A través del mapa de valores de periodos, producto del estudio de microtremores, así como también por medio de la integración de estudios geológicos, gravimétricos, geotécnicos y de sísmica de refracción, entre otros, es posible delimitar zonas que presentan comportamientos similares, permitiendo establecer requerimientos mínimos de diseño orientados a la prevención de desastres producto de movimientos sísmicos.

El método de sísmica de microtremores utiliza ese “ruido” en los registros y mediante un análisis espectral, básicamente, logra estimar la distribución de velocidades de ondas de cizalla hasta profundidades de decenas de metros. Por lo tanto, se pretende presentar un método que permita evaluar en forma rápida y no destructiva las características del terreno en zonas con limitaciones para la aplicación de los métodos tradicionales.

1.3 OBJETIVOS

- a. Obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el Área Urbana de Carapongo, Distrito de Lurigancho-Chosica, Provincia de Lima.
- b. En este estudio se propone evaluar métodos de sísmica superficial en áreas urbanas para la caracterización de sitio, conocido como sísmica de Microtremores, basado en la teoría de dispersión de las ondas Rayleigh.
- c. Aplicar metodologías actualizadas para el estudio de suelos: método de Nakamura, refracción sísmica y geotécnica.
- d. Proporcionar a las autoridades del Distrito Lurigancho-Chosica un Documento Técnico que ayude a proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.

1.4 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona urbana de Carapongo se encuentra ubicada en el distrito de Lurigancho – Chosica perteneciente a la cuenca del río Rímac, Carapongo está situado en el margen derecho a orillas del río Rímac, estando mayormente compuesta por áreas agrícolas y zona urbana. Probablemente en el futuro, el área urbana sea expandida rezagando al área agrícola por la creciente expansión de Lima Metropolitana con departamentos y edificios multifamiliares, (ver Figura 1.1):

- Localidad : Carapongo
- Distrito : Lurigancho – Chosica
- Provincia : Lima
- Departamento : Lima, Perú
- Coordenadas : 11°59'14"S 76°52'27"W
- Altitud : 432 m.s.n.m.
- Área : 765 Hectáreas
- Población : 3,200 Hab.
- Vía de Acceso : Carretera Central altura Km. 10

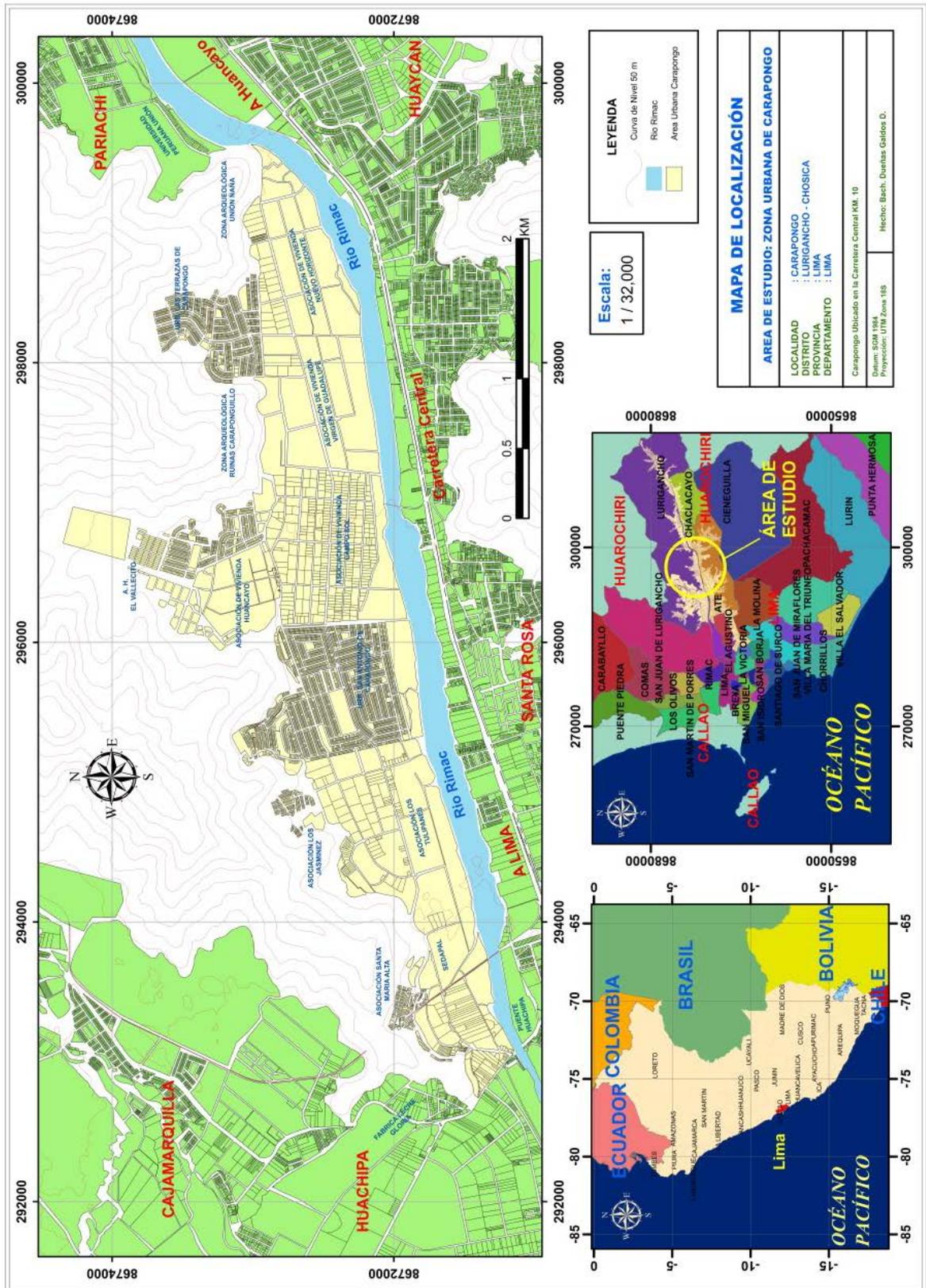


Figura 1.1: Ubicación del Área Urbana de Carapongo.

1.5 ACCESIBILIDAD

El área de estudio tiene como acceso principal la Carretera Central Km. 10, virando hacia la izquierda en el cruce con el puente Huachipa ahí está ubicado el ingreso a Carapongo, la accesibilidad a la población de Carapongo cuenta con diferentes entradas como por las calles: Virgen de Guadalupe (principal), Cajamarca, Parinacochas, Cabana y los Cruces, para una mejor ilustración de la zona (ver Figura 1.2), donde se puede observar la ciudad de Lima las principales vías de acceso y el área de estudio.

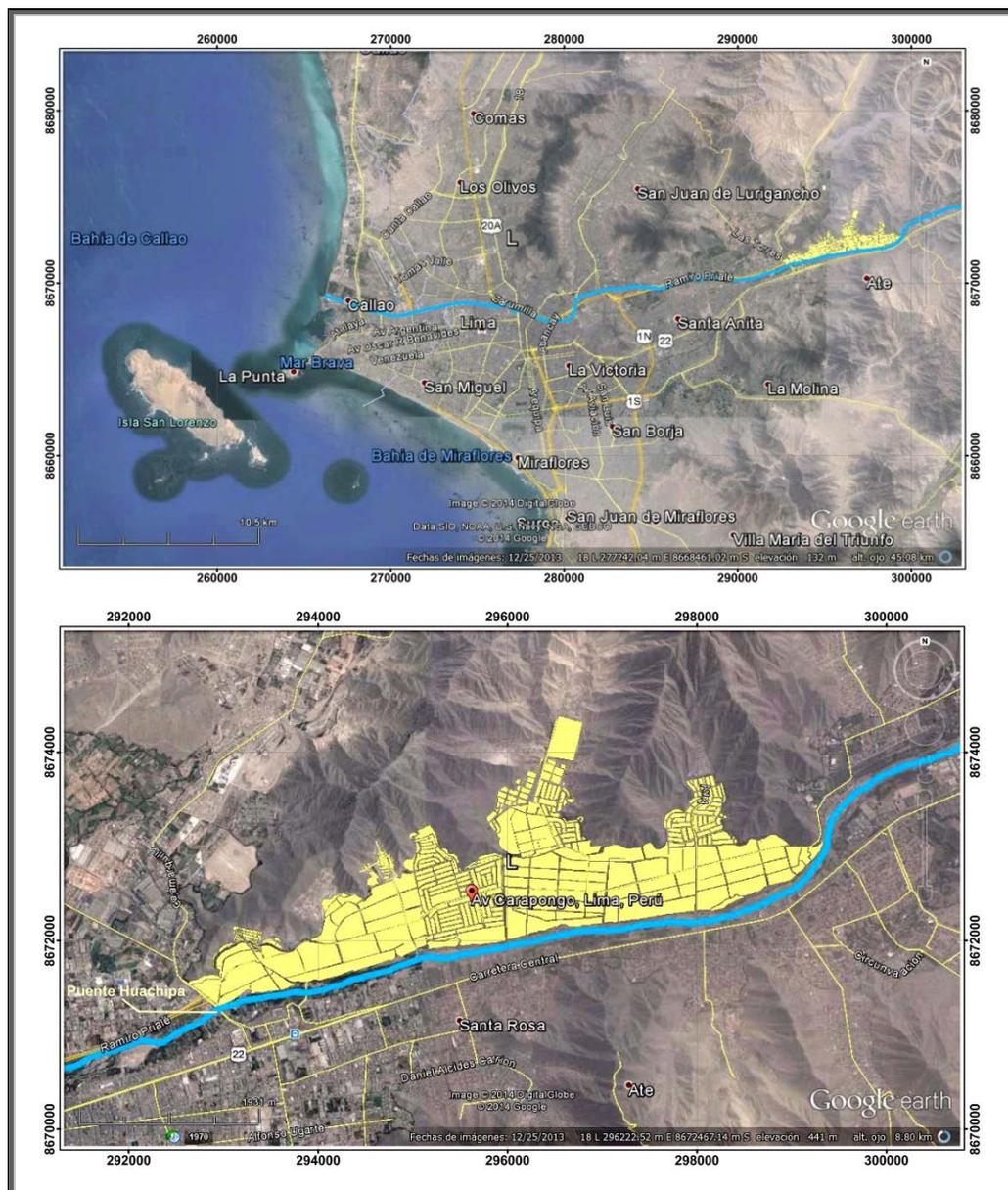


Figura 1.2: Acceso a la zona urbana de Carapongo, ciudad de Lima Metropolitana.

1.6 TRABAJOS ANTERIORES

La historia sísmica del Perú, ha mostrado que el borde occidental de su región central, presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y muchos de ellos, de acuerdo a su magnitud y distancia epicentro-estación, han producido daños importantes en esta región. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos y licuación de suelos, derrumbes de tierra y rocas, y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales (Silgado, 1978; Dorbath et al, 1990; Tavera y Buforn, 2001).

Por otro lado, a partir de los años 80, la ciudad de Lima Metropolitana y el gran número de distritos que la rodean han soportado procesos continuos de migración por población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de una adecuada planificación urbana y de acertadas políticas de planeamiento, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos y tsunamis. A estos escenarios se suma el hecho de que las viviendas son construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando la norma de construcción vigente en el Perú (Norma E-030). Asimismo, en algunos distritos las viviendas se asientan en laderas de cerros y ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando de este modo el riesgo en dichas áreas.

En el año 2005, la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) y el Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) realizaron un importante aporte para la mejora en la Gestión de Riesgos de Lima Metropolitana con el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao, el mismo que se constituye como información primaria y de base para cualquier otra investigación o proyectos en Gestión de Riesgo en Lima. De manera complementaria, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), realiza los mismos estudios en los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino (Tavera et al, 2011), permitiendo completar la información para el total de los distritos que conforman el área de la ciudad de Lima Metropolitana (ver Figura 1.3).

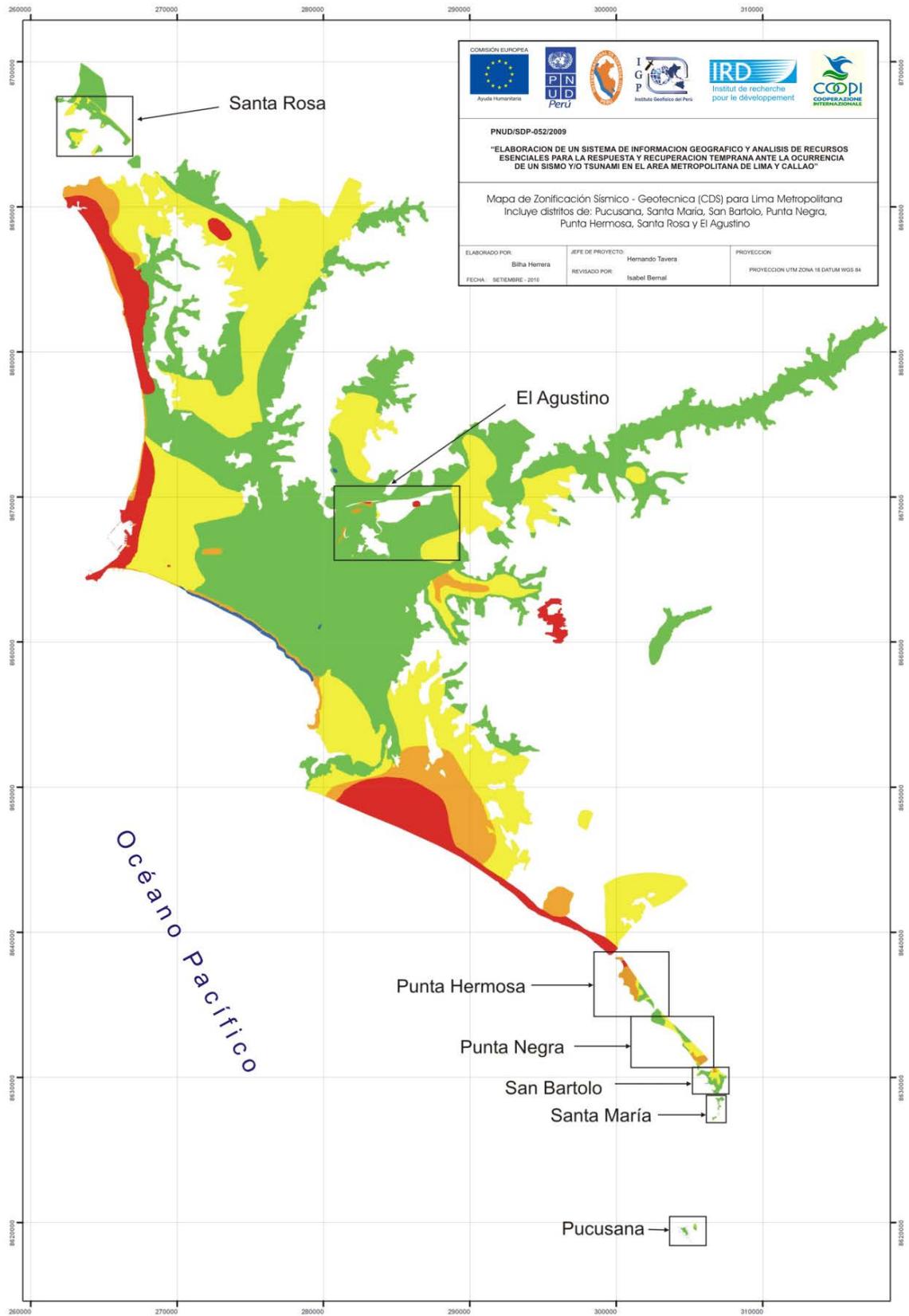


Figura 1.3: Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010), (Fuente: IGP).

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEODINÁMICA

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

2.1.1 Geomorfología

- a) En las zonas de Barranca, Ancón, Oyón, Huacho, Huaral y Canta se observa que la parte más afectada es la región Puna (4200-5000 m.s.n.m.). Los Andes se han elevado hasta 5000 m. desde el Mioceno. En esta región sobresalen dos zonas, la Cordillera Occidental y el Altiplano, separadas por una escarpa de falla. La glaciación del Pleistoceno ha modificado notablemente la superficie Puna y se considera que el bloque occidental fue de erosión y el oriental de depósito. La región Puna contiene principalmente sedimentos cretáceos y volcánicos de la era Terciaria. En la parte occidental de la superficie Puna se puede observar una erosión de cañón, formando laderas abruptas de hasta 2000 m. además de la erosión valle conforme va bajando la pendiente. De acuerdo al drenaje de estas zonas, los ríos Huallaga y Mantaro integrantes de la cuenca del Atlántico desaguan en el Océano Pacífico.
- b) En las zonas de Lima, Chancay y Chosica la geomorfología es de origen tectónico y plutónico sobreimpuestos por los procesos geodinámicos. El borde litoral es un área de tierra firme, expuesta a la acción de las olas marinas (menos Chosica) y producto de esta acción se presentan diferentes bahías, ensenadas, acantilados, puntas, etc.

Frente al litoral se encuentran islas pequeñas y no habitadas por el hombre: San Lorenzo, Frontón, Pachacámac, Perrón de Pachacámac, destacando el cerro La Niña (isla San Lorenzo) como la más elevada de la zona, con 396 m.s.n.m. Geológicamente las islas San Lorenzo y Frontón son continuación del Morro Solar, distante 6 km. Las planicies y conos deyección constituyen amplias superficies cubiertas por gravas y arenas

provenientes del transporte y sedimentación de los ríos (ejemplo el cono aluvial del río Rímac). Las estribaciones de la cordillera Occidental son laderas y crestas marginales de la cordillera andina, formando valles y profundas quebradas que se abren camino hacia la costa. Los valles y quebradas presentan un piso cubierto por depósitos aluviales y materiales de poco transporte provenientes de la cordillera occidental. Las Lomas y cerros testigos son colinas que rodean las estribaciones de la cordillera occidental con calizas, cuarcitas, lutitas y limolitas. La zona andina, desde el Este están formadas por planicies labradas en tobas con ligera inclinación hacia el Oeste, reflejando una superficie de erosión labrada en el batolito sobre la cual se han depositado. Las playas de Lima son formaciones que se han dado a través del tiempo por acciones meteorológicas.

2.1.2 Estratigrafía

- a) En las zonas de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta se identifican cuatro zonas estratigráficas paralelas a la costa de oeste a este: zona costanera, zona volcánica de la sierra, zona de la cuenca cretácea y zona del bloque cretáceo. Estas zonas se conoce solo una porción, ya que las zonas desconocidas son materia de especulación.

❖ Zona Costanera

Presenta espesor de 4000 m. y presenta diversas formaciones:

- Formación Casma, data del cretáceo inferior formado por derrames volcánicos de andesita y algunos sedimentos intercalados.
- Formación Goyllarisquizga, data del cretáceo inferior, y está constituido por cuarcita rojiza, lutitas y areniscas de grano fino.

❖ Zona Volcánica de la Sierra

Presenta un espesor de 3900 m. y está conformada por:

- Formación Calipuy, data del cretáceo terciario inferior, está formado por lavas andesíticas y piroclásticos.
- Formación Jumasha, data del cretáceo superior, está formado por caliza masiva.
- Formación Pariatambo, del cretáceo inferior, está formado por margas y calizas.
- Formación Chúlec, del cretáceo inferior, está formado por margas amarillas y calizas.

- Formación Pariahuanca, del cretáceo inferior, está formado por caliza masiva gris.
- Formación Farrat, del cretáceo inferior, está formado por areniscas blancas.
- Formación Carhuaz, del cretáceo inferior, está formado por lutitas con algo de areniscas.
- Formación Santa, del cretáceo inferior, está formado por calizas azul gris poco intemperizadas.
- Formación Chimú, del cretáceo inferior, está formado por cuarcita blanca.
- Formación Oyón, del cretáceo inferior, está formado por lutitas y carbón en la parte superior.

❖ *Zona del Bloque Cretáceo*

Con un espesor de 2800 m. está constituido por:

- Formación Calipuy, del cretáceo superior, está formado por lavas andesíticas y piroclásticas.
- Formación Casapalca, del cretáceo superior terciario, está formado por areniscas rojas y verdes, lutitas.
- Formación Celendín, del cretáceo superior, está formado por margas y calizas.
- Formación Jumasha, del cretáceo superior, está formado por caliza masiva y gris.
- Formación Pariatambo, del cretáceo inferior, está formado por margas fétidas y calizas.
- Formación Chúlec, del cretáceo inferior, está formado por margas amarillas intemperizadas y calizas.
- Formación Goyllarisquizga, del cretáceo inferior, está formado por areniscas y lutitas.

- b) En las zonas de Chancay, Lima y Chosica, se identifican la existencia de cuatro ciclos sedimentarios que van desde el Jurásico hasta el cretáceo superior. Cabe destacar que coetáneamente con la sedimentación, también se desarrolló una intensa actividad volcánica, siendo en mayor intensidad a lo largo de la faja del borde occidental andino, coincidiendo con la zona de emplazamiento del Batolito costanero.

A continuación, se describen los grupos estratigráficos, tanto de la zona costanera como de la zona del borde occidental andino hacia el Este.

❖ **Grupo Puente Piedra**

Se ha dividido en dos áreas: Puente piedra inferior, ubicado en el valle del Chillón, llamado volcánico Santa Rosa y Puente Piedra superior, formaciones del Puente Inga, Cerro Chillón y la Pampilla.

- Volcánico Santa Rosa, es la base de la columna geológica de Lima con más de 500 m. de grosor formadas de rocas volcánicas, lutitas, andesitas limolitas, andesitas feldespáticas.
- Formación Puente Inga, se encuentra sobre la formación volcánico Santa Rosa y bajo la Formación Ventanilla, estando constituida por lutitas, limolitas y areniscas feldespáticas.
- Formación Ventanilla, se encuentra sobre la Formación Puente Inga, constituida por lutitas, andesitas, limolitas y algunas capas de chert, aflora en el cerro Chillón.
- Formación Cerro Blanco, se encuentra sobre la formación Ventanilla, constituida por areniscas, capas de chert, andesitas; aflora en los cerros la Regla y Oquendo hasta la refinería La Pampilla.
- Formación Volcánica Ancón, conformada por derrames volcánicos de naturaleza andesítica, hornablenda, feldespato; así como minerales opacos como pirita, magnetitas en cristales, calcita, chert y vidrio volcánico.

❖ **Grupo Morro Solar**

- Formación Salto del Frayle, presenta un grosor de 100 m. y está formado por cuarcitas grisáceas, lutitas grises azuladas; estratificación cruzada, está sobre la Formación Herradura y es visible en las playas Agua Dulce y Herradura. Se extiende desde el valle del Chillón hasta el valle de Lurín.
- Formación Herradura, se encuentra sobre la Formación Marcavilca, y está formada por lutitas arcillosas, areniscas y caliza silíceas blancas. Está constituida por dos miembros, LA VIRGEN con depósitos de lutitas grises y areniscas, y la HERRADURA (sobre puesto en la Virgen) y conformado por areniscas, lutitas grises a negras. Su grosor es de 60 a 70 m.
- Formación Marcavilca, se encuentra sobre la Formación Herradura, desde el Morro Solar hasta espaldas de la UNI, del valle del Chillón hasta el valle de Lurín. Está constituido por tres miembros: MORRO SOLAR, areniscas y

lutáceas, areniscas abirragadas por tubos de anélidos (fósiles); MARCAVILCA, presenta las rocas más duras del grupo y estratificación cruzada. La roca predominante es la cuarcita con cemento silíceo, también lutitas. LA CHIRA, es el techo del grupo Morro Solar, y está constituido por areniscas blancas con estratificación cruzada.

- Formación Pamplona, conformada por serie arcillo- calcárea y presenta pliegues de arrastre y estructura de sobrecarga, microplegamientos y fracturas.
- Formación Atocongo, es la continuación de la Formación Pamplona y la roca que más destaca es la caliza.

2.1.3 Rocas Intrusivas

El Batolito Costanero es un dique paralelo al margen continental, y su composición varía de grabo a granito potásico. Este batolito alcanza un ancho de hasta 60 km. en la latitud de Sayán y menor (15 km.) entre el río Supe y Pativilca. El Batolito de la Costa presenta tres segmentos: TRUJILLO, desde Chimbote hacia el norte; LIMA, entre Chimbote y Lurín; AREQUIPA, entre Lurín y Arequipa. Dentro de este batolito existen varias superunidades caracterizadas por ser de la misma fábrica y textura. En orden cronológico de los más antiguos a los más jóvenes:

- ***Superunidad Paraíso:** Presente en Chosica, Chancay, Huaral y Canta, está constituido por roca de color oscura tonalitas, plagioclasas, cuarzo, hornablenda, biotitas.
- ***Superunidad Patap:** Presente en Atocongo, La Molina, Lurín, Chosica y está constituida por grabos y dioritas (las más antiguas del batolito).
- ***Superunidad De Jecuan:** Presente en Lurín y está constituida por granodiorita, tonalita, adamelita.
- ***Superunidad Paccho:** Presente en Chosica y está constituido por tonalita y diorita.
- ***Superunidad Santa Rosa:** Presente en Chancay-Chosica y está constituido por tonalita, dioritas y granodioritas.
- ***Superunidad Tiabaya:** Presente en Lurín y está constituido por granodioritas a tonalitas, dioritas.

A continuación se presenta la Columna Estratigráfica para Lima (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Columna Estratigráfica de la Ciudad de Lima

Estratigrafía del área de Lima												
Ente	Eratem	Sistema	Serie	Piso	Litología	Grupo	Formación	Miembro	Espesor (m)	Autores / Trabajos relevantes	Eventos tectónicos y depositacionales	Dataciones relativas y/o absolutas
Fanerozoico	Mesozoico	Cretáceo	Superior	Berrastiano	Batolito de la Costa (100 - 30 ma)	Lima	Casma	Quilimaná	+/- 1200 +/- 1800	Lisson (1907) Le Roux et al. (2000) Giles et al. (2002) Noble et al. (2009) Otras	Levantamiento causado por el paso de la Dorsal de Nazca durante el Mioceno tardío es la causa de la inyección profunda de los ríos Rimac y Chillón (Le Roux et al. 2000)	Mide de Epos curvadas de edad Pleistoceno (Lisson, 1907) Muestras ⁴⁰ K/ ⁴⁰ Ca en fósforos de sodina y bitita del edificio 7.02 +/- 0.02 ma y 46 +/- 0.16 ma - Mioceno tardío (Noble et al. 2009)
Fanerozoico	Mesozoico	Cretáceo	Interior	Berrastiano	Batolito de la Costa (100 - 30 ma)	Lima	Lima	Pamploña	+/- 650 +/- 1300	Almeida et al. (2006)	Deposición eólica en plataforma de carbonatos, lodolitas y evaporitas	Su origen se restringe a un graben que se formó entre Pucúsana y Mala
Fanerozoico	Mesozoico	Cretáceo	Superior	Berrastiano	Batolito de la Costa (100 - 30 ma)	Morro Solar	Morro Solar	Herradura	+/- 80 +/- 650	Lisson (1907) Rivers (1951) Roosweg (1953) Fernández Concha (1958) Wilson (1963) Wagge (1963) Almeida (1963) Geyer y Alaman (1968) Moulin (1988) Chavez (1989) Núñez del Prado (1991) Pérez et al. (2002) Almeida (2006) Cotrina et al. (2010)	Deposición alitolitoclástica en aguas poco profundas y proveniencia de sedimentos de bocanos continentales durante la extensión silílica	Fuerza similar a la descrita para la Formación Hembras. Presenta armonías Pucúsana, Berrastiano y Llanos de Llanos (Lisson). El estudio Pucúsana y Berrastiano son de repetición en esta zona.
Fanerozoico	Mesozoico	Cretáceo	Superior	Berrastiano	Batolito de la Costa (100 - 30 ma)	Morro Solar	Salto del Fraile	Ventanilla	+/- 995	Caldas (1902) Fernández (1966) Hernández et al. (2004)	Exposición y amplia deposición subacuática en el arco volcánico (arco regular activo). Ambiente marino poco profundo y cerca de la línea de la costa evidenciada por la presencia de plantas fósiles. Vulcanismo subalino y subacuático, depositado principalmente en ambiente marino. Facies de arco frontal	Berrastiano (Llanos de Llanos), B. curvostriata (RIVERA). Se han reportado fósiles de plantas
Fanerozoico	Mesozoico	Cretáceo	Superior	Berrastiano	Batolito de la Costa (100 - 30 ma)	Morro Solar	Punto Inga	Tambo Inga	+/- 585	Rivers (1951) Fernández (1966) Olier et al. (1980) Agarwal (1988)	No se dispone de información	No se dispone de información
Fanerozoico	Mesozoico	Cretáceo	Superior	Berrastiano	Batolito de la Costa (100 - 30 ma)	Morro Solar	Asia	Asia	+/- 500	Salazar (1950) Jacey et al. (2005)	No se dispone de información	Esta unidad estratigráfica no ha sido estudiado con detalle y no están suficientes estudios realizados sobre su edad de formación, por lo que se citan datos adicionales que determinen su edad con exactitud

Fuente: Ayala L. (2011)

2.2 GEOLOGIA LOCAL

2.2.1 Generalidades

Para los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos, se ha hecho uso de la base topográfica digital a escala 1/5,000 adquiridos del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Del mismo modo, para las coberturas temáticas se ha utilizado fotografías aéreas de la zona a escala 1/15,000. Toda la información fue georeferenciada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) e integrada en un Modelo Digital de Terreno (MDT), (ver Figura 2.1).

La región Lima al poseer dos zonas bien marcadas, como el litoral y la parte andina, tienen características particulares en cada una de estas y por ende la presencia de factores geológicos internos y externos. Por ejemplo, en la erosión marina en la zona costanera y fluvial en las partes altas, ambas contribuyen en condiciones propicias, para el desarrollo de diversas actividades propias del hombre, como minería, agricultura y ganadería.

La historia geológica de esta región comprende el desarrollo de ciclos sedimentarios y tectónicos del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. El primer ciclo fue afectado por la tectónica hercínica y los dos últimos por las fases tectónicas del ciclo orogénico andino. El más antiguo acontecimiento que registra la geología de esta región, es la sedimentación en cuenca subsidente correspondiente a rocas sedimentarias del grupo Excelsior en el Domo de Yauli.

2.2.2 Aspectos Geológicos

Según el Cuadrángulo Geológico de Chosica” Boletín N°43 – Hoja: 24-j a escala 1/100,000 (INGEMMET), El área de estudio se emplaza sobre el Grupo Casma constituida por una serie volcánico-detritica, intruídas por afloramientos ígneos del Grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalítico-granodioríticos que tienen una gran extensión dentro del Batolito de la Costa y por afloramientos ígneos del Grupo Patap constituidos por cuerpos Gabros-dioritas del cretáceo superior. Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales cuya edad geológica pertenecen al cuaternario pleistoceno (Qp-al) y al cuaternario reciente (Qr-al). El valle es de mediana amplitud y se interrumpe en varios sectores por conos aluviales que desembocan en el río Rímac.

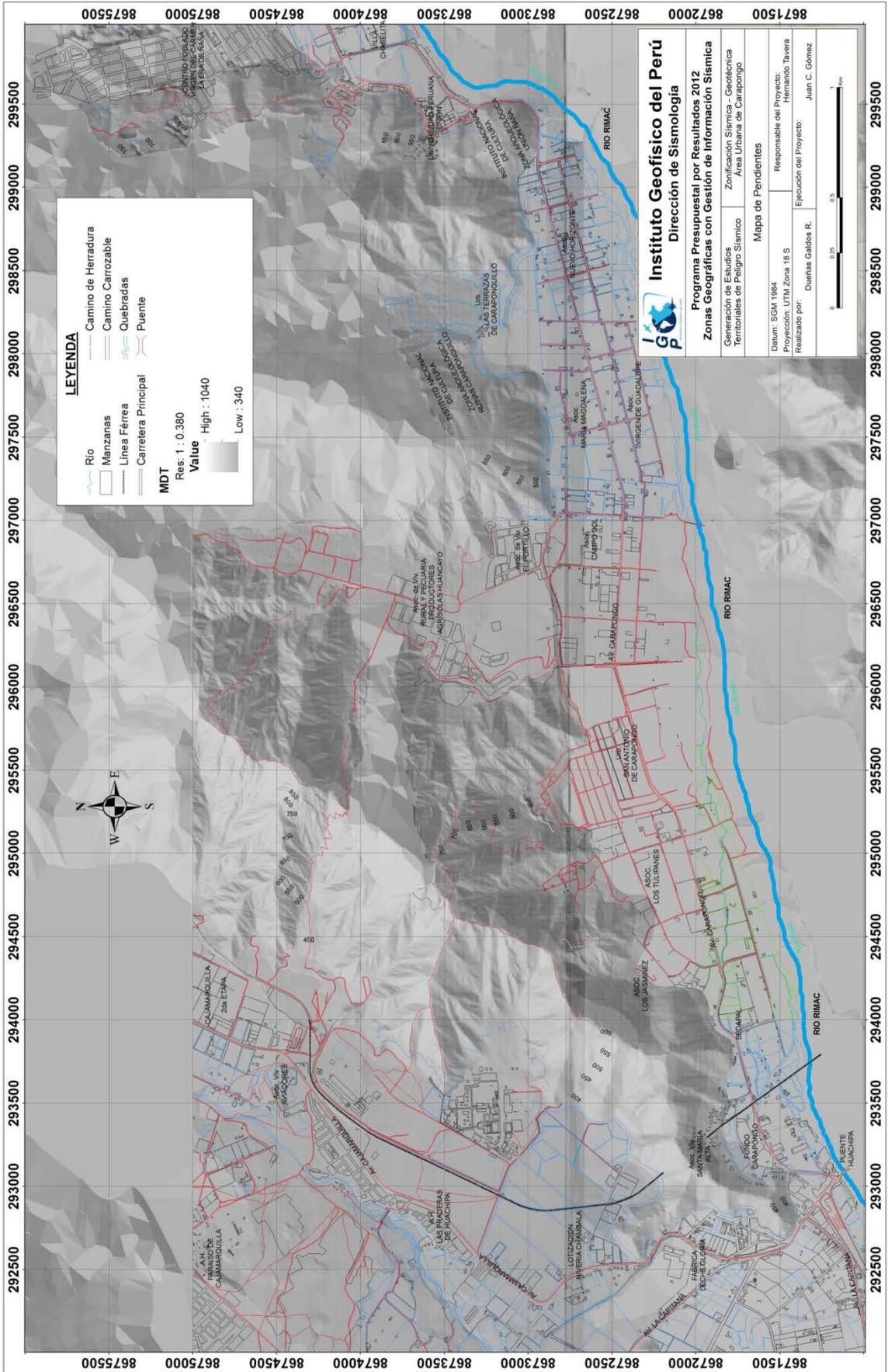


Figura 2.1: Modelo digital del terreno para el área urbana de Carapongo.

A continuación, se presenta la Columna Lito-estratigráfica de la zona (Tabla 2.2), y sus principales características son:

Tabla 2.2: Columna Litoestratigráfica para el Área Urbana de Carapongo

CRONOESTRATIGRAFÍA			LITOESTRATIGRAFÍA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. aluviales		
		PLEHISTOCENO	Dep. aluviales		
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Volc. Quilmaná		Santa { Tonalita-Granodiorita
			Gpo. Casma		Rosa { Tonalita-Diorita
					Patap { Gabro-Diorita

2.2.2.1 Grupo Casma

Esta serie vulcano-detritica tiene sus afloramientos mejor desarrollados en el lado occidental del Batolito de la Costa. Es una unidad Litoestratigráfica con una secuencia compuesta de volcánicos andesíticos intercalados con areniscas grauvacas, lutitas y piroclásticos de aproximadamente 1700 m de espesor. Se encuentran en las Terrazas de Carapungullo, Universidad Peruana Unión y en el C.P Virgen del Carmen. Una buena síntesis de esta Unidad Litoestratigráfica se puede apreciar en los numerosos trabajos realizados, como el de Guevara (1980) quien pone énfasis sobre las correlaciones estratigráficas de esta unidad litoestratigráfica, también están los trabajos de Atherton et al., (1985), Atherton y Webb (1989) y Aguirre et al. (1989) quienes consideran que dicho grupo corresponde al relleno de una cuenca marginal ensialica “abortada” (esto es sin creación de corteza oceánica). Además, Soler (1991) considera que el Grupo Casma constituye un arco volcánico de carácter distensivo y Santos et al. (2000) hacen una síntesis de los aspectos sedimentológicos de esta serie en el área de Trapiche.

En esta parte de Lima se identifican dos formaciones:

- **Formación Quilmana**, con presencia de piroclásticos y derrames andesíticos de minerales de lavas de estructura almohadillada y admigdaloides con intercalación esporádica de areniscas volcánicas.
- **Formación Chilca**, con una secuencia sedimentaria volcánica constituida de una intercalación de areniscas volcánicas, lutitas, grauvacas y calizas finamente

estratificadas con andesitas y dacitas. Además presenta derrames y piroclásticos volcánicos. Andesita-dioríticas con horizontes de lavas almohadilladas.

En la región del borde occidental andino se identifican las siguientes formaciones:

- **Formación Arahuay**, (valle del Chillón), formado por ftamitas, asociadas con niveles volcánicos, calizas y lodolitas. Tiene un grosor de 4000 m. aproximadamente.
- **Formación Yangas**, constituido por una serie volcánica sedimentaria en el sector medio o alto valle del Chillón. Se identifican lavas andesíticas masivas, lodolitas y margas silicificadas con ftanitas y chert blanco y oscuro, intercalando con limolita, areniscas de grano fino de color gris a negro.
- **Formación Pamplona**, ubicada entre Chancay y Chosica, sector alto del valle del Chillón. Predominan los materiales arcillo-calcáreos, lutitas y margas en capas delgadas, calizas bituminosas, algunos niveles de areniscas volcánicas. Está sobre la formación Yangas.

Además del Grupo Casma existe otro grupo denominado Rímac, constituido por las formaciones Colqui, Volcánico Millotingo y la Formación Huarochirí, con características similares al grupo anterior.

2.2.2.2 Súper Unidad Patap

Está constituida por cuerpos de gabros y dioritas, que corresponden a las rocas las más antiguas del batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con intervalos de tiempo que pueden variar entre los 84 y 102 millones de años. La textura de la roca varía de grano medio a grueso. Sus afloramientos se encuentran en la lotización Niveria Chambala, el fundo Carapongo, Asociaciones de Vivienda, Santa María alta y Los Jazmines. Para una ilustración más detallada en la Figura 2.2, se presenta el mapa geológico.

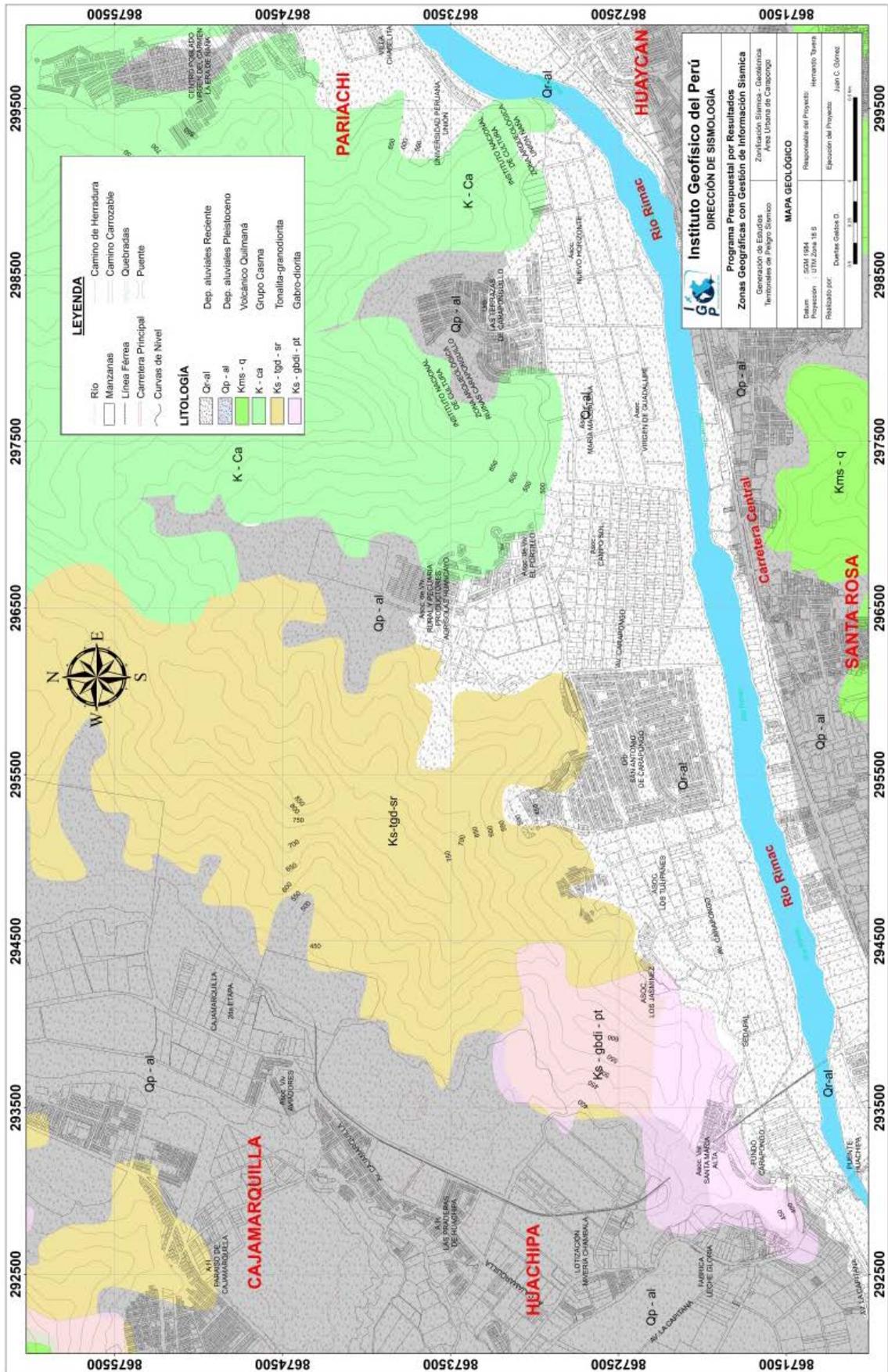


Figura 2.2: Mapa Geológico para el área urbana de Carapongo.

2.2.2.3 Depósitos Cuaternarios

Están constituidos por materiales acarreados por los ríos que forman terrazas y aquellos provenientes de las quebradas formando depósitos de flujo de detritos que se encuentran al borde de los cerros. Estos depósitos tienen un área extensa en superficie, presentando diferencias en composición y espesor propios del origen y la magnitud del transporte del evento. Entre estos depósitos se tiene a los Aluviales del Cuaternario, tanto de la serie Reciente en el valle del río Rímac, como de la serie Pleistocena que han sido depositados en las partes altas y bajas de las quebradas.

Los depósitos aluviales están constituidos por cantos rodados y gravas heterométricas, con matriz areno-limoso que ocupa el cauce actual del río Rímac. Todos estos materiales se encuentran intercalados formando paquetes de diferentes grosores y se aprecia en terrazas y antiguos conos de deyección.

2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Los rasgos geomorfológicos presentes en la zona de estudio es el resultado del modelado geológico causado por eventos tectónicos y procesos de geodinámica superficial. El área de estudio se encuentra a alturas entre 750 y 1745 m.s.n.m. En este estudio se utilizó la base de datos provenientes del mapa geológico publicado por el INGEMMET, además de la información recopilada en campo durante los meses anteriores. En general, el relieve del área presenta la forma típica en “V” propios de cauces de ríos y fondo angosto limitado por cadenas montañosas de moderada a fuerte pendiente.

En el área de Carapongo se ha identificado la existencia de cuatro unidades geomorfológicas relacionadas con otros de pendientes identificados en el modelo de elevación digital (MDE) y que fue construido utilizando el software SIG. El detalle de esta información se muestra en la Tabla (2.3).

Tabla 2.3: Rangos de Pendientes Identificados en la Zona Urbana de Carapongo

Unidad Geomorfológica	Pendiente
Quebradas (Qb)	> 20°
Terrazas (Te)	0° - 15°
Colinas (Co)	15° - 25°
Ladera de pendiente media (Lpm)	25° - 35°
Ladera empinada (Le)	> 35°

En base al análisis de pendientes, las características de estas unidades son:

2.3.1 Quebradas

Comprenden las quebradas ubicadas en la margen derecha del valle del río Rímac, en la Urb. Las Terrazas de Caraponguillo, C.P Virgen del Carmen y en la Asociación de Vivienda El Portillo, entre las cotas 370 y 750 m.s.n.m. Estas quebradas permanecen secas la mayor parte del año (mayo-diciembre), transcurriendo agua solo en época de fuertes precipitaciones y especialmente asociados al fenómeno del Niño.

Presentan un clima seco, donde sus cauces o depresiones favorecen la acumulación de detritos y materiales de poco transporte (depósitos coluviales), provenientes de las estribaciones de la Cordillera Occidental. Presentan una pendiente mayor a 20°.

2.3.2 Terrazas

Son terrazas de edad Holoceno Reciente a Pleistoceno, que se han formado por acumulación de depósitos aluviales de corrientes relativamente antiguas que han quedado en posiciones topográficas superiores debido a las deformaciones tectónicas recientes, que las han elevado con pliegues de amplio radio de curvatura.

En detalle la topografía de estas terrazas tiene ondulaciones y disecciones que afectan la superficie teniendo una pendiente máxima de 15° como rango dominante. Estas planicies, actualmente están siendo ocupadas por urbanizaciones y diversos asentamientos humanos, siendo susceptibles a inundaciones producidas por el río Rímac.

2.3.3 Colinas

Considera a los cerros de poca elevación (>100 m) que separan de esta unidad, las laderas de pendientes medias. Su morfología es ondulada, poco agreste, sus taludes no sobrepasan los 25°. Presentan una topografía subordinada a la litología de las unidades geológicas, Por ejemplo, cuando se trata de rocas intrusivas, el relieve es abrupto formado por lutitas o limolitas de formas redondeadas, y cuando se trata de rocas volcánicas su pendiente es empinada. Se encuentran en la lotización Niveria Chambala y el fundo Carapongo.

2.3.4 Laderas de Pendiente y Media Empinada

Esta unidad demarca a las laderas de las cadenas premontañosas de la cordillera Occidental, que alcanzan altitudes entre los 420 y 1040 m.s.n.m, y están constituidas principalmente por rocas intrusivas del batolito de la costa emplazados con rumbo NO-SE. Presentan topografía abrupta, los mismos que son disectadas por las quebradas. En el primer caso, presentan pendientes entre los 25° y 35°; mientras que, en el segundo tienen pendientes mayores a 35°.

Para una ilustración más adecuada en el terreno se ha elaborado un mapa Geomorfológico de la zona de estudio donde se puede apreciar claramente las zonas antes mencionadas en colores diferenciados, tenemos: laderas empinadas, laderas de pendiente media, colinas y terrazas. Seguidamente podemos recalcar que las zonas de ladera empinada y laderas de pendiente media hay que tenerlas muy en cuenta por ser consideradas zonas rojas de caída de rocas y zonas de posibles huaycos en épocas de lluvias (ver Figura 2.3).

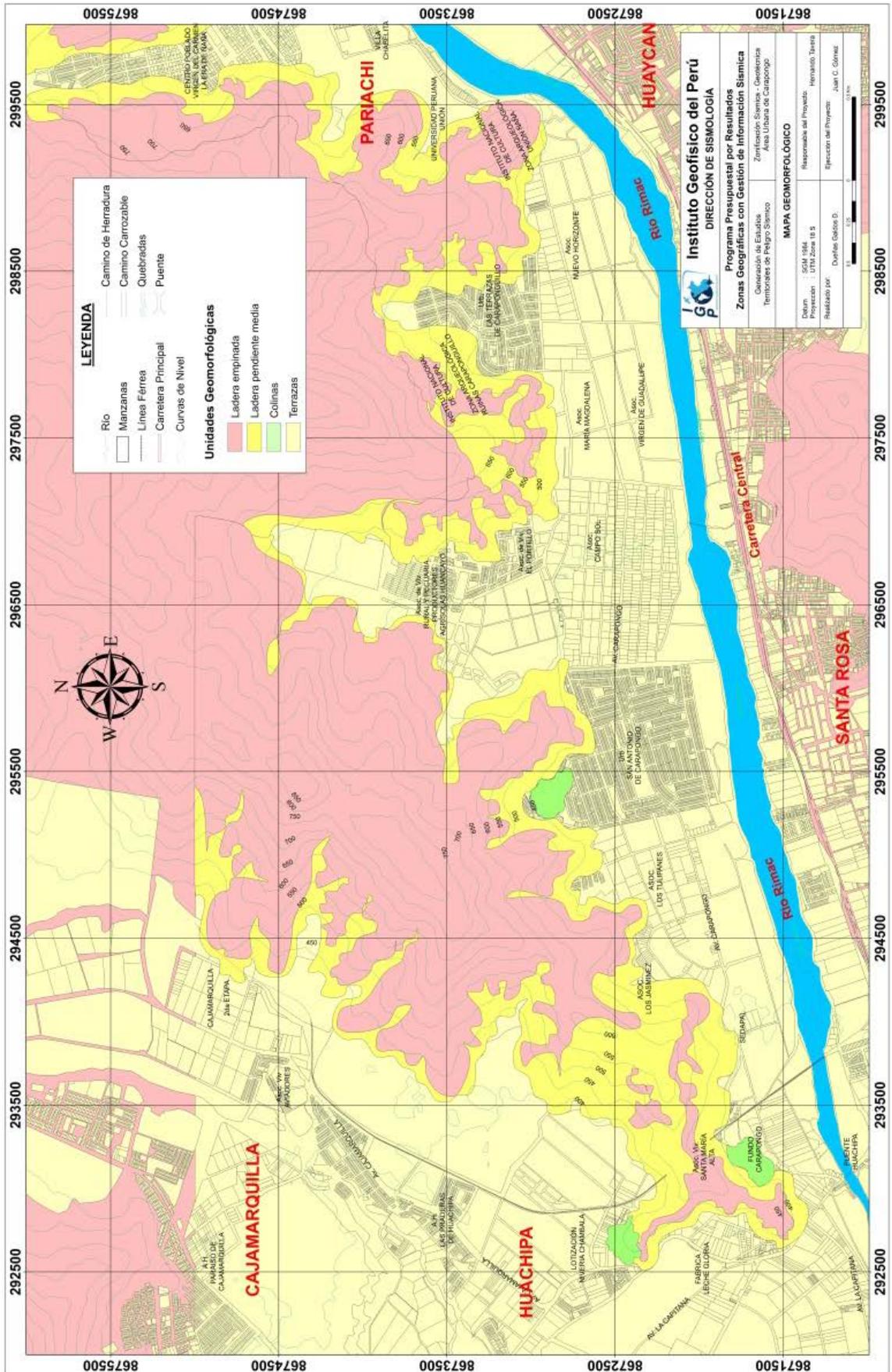


Figura 2.3: Mapa Geomorfológico para el área urbana de Carapongo.

2.4 ASPECTOS GEODINÁMICOS

Los procesos de geodinámica superficial dan lugar a diversas geoformas que están sometidas a procesos de intemperismo y meteorización que al final conducen a la ocurrencia de movimientos en masa. Estos movimientos en masa están relacionados a los siguientes parámetros intrínsecos, (Santacana, 2001): litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje; y como agentes detonantes intervienen: las precipitaciones, los sismos y la actividad antrópica, que afectan la infraestructura establecida en la zona como: viviendas y la Carretera Central, principalmente. Durante el trabajo de campo se han identificado e inventariado la ocurrencia de 21 movimientos en masa, todos indicados en la Figura 2.4 y detallados en los Anexos del presente estudio. En general, las principales características de estos movimientos en masa son:

2.4.1 Flujos de Detritos

Consisten en una colada con elevada concentración de materiales detríticos que se mueven hacia los valles afectando a los suelos con mezclas de materiales finos y en mayor proporción materiales gruesos, conteniendo gran cantidad de agua que facilita su propagación como un solo cuerpo. Se ha inventariado ocho flujos de detritos, que asociados a lluvias intensas, pueden provocar la reactivación de las quebradas. En general, los flujos están circunscritos a las quebradas que conforman la cuenca del río Rímac, como son las quebradas ubicadas en la Urb. San Antonio de Carapongo, Urb. Las Terrazas de Caraponguillo y en el C.P Virgen del Carmen (ver Figuras 2.5 y 2.6).

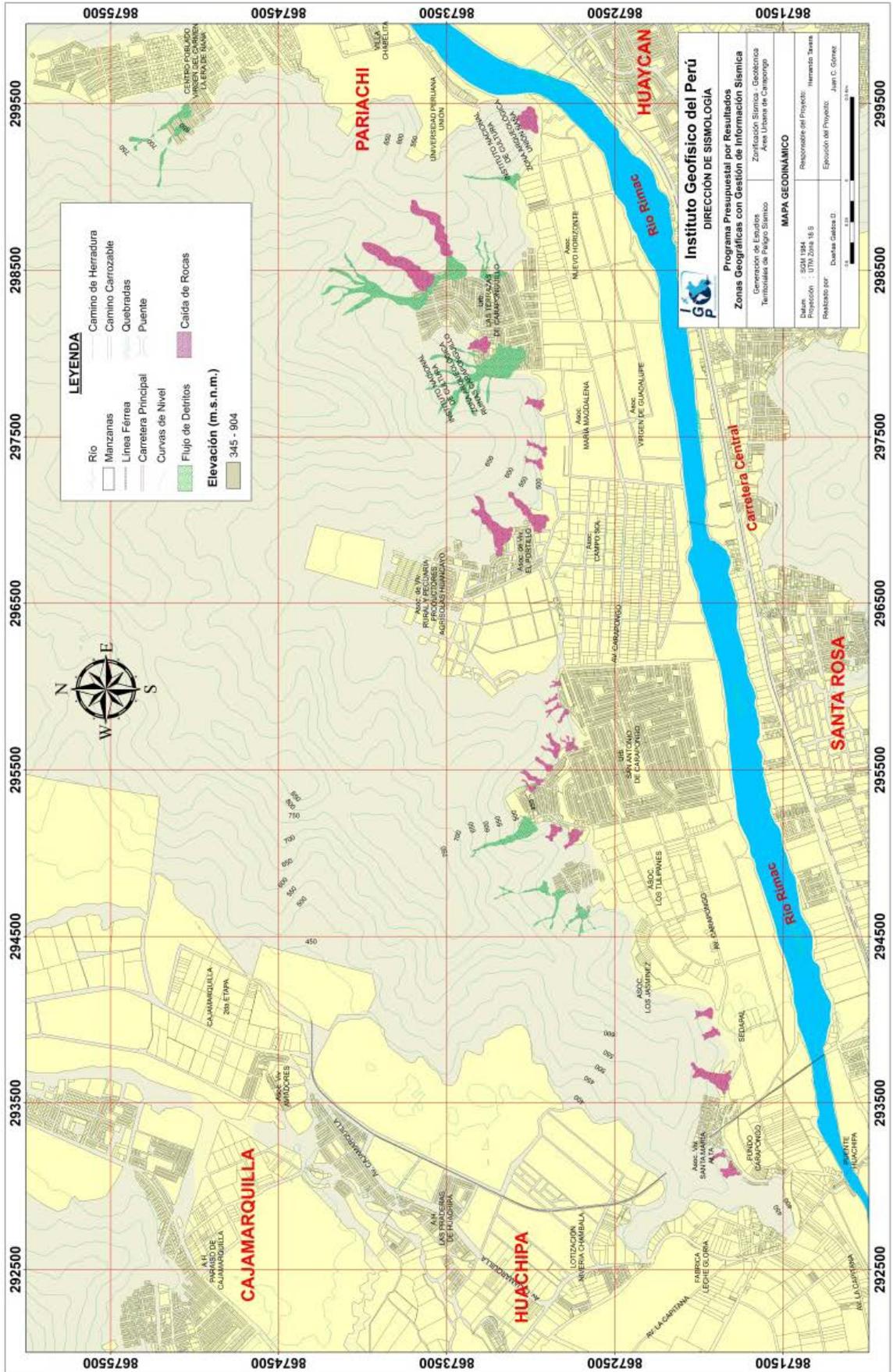


Figura 2.4: Mapa Geodinámico para el área urbana de Carapongo.



Figura 2.5: Depósito de flujos de detritos en el extremo oeste de la Urbanización Las terrazas, declarado patrimonio cultural por el INC.



Figura 2.6: Las líneas segmentadas muestran el flujo de detritos en el extremo este de la Urb. Las terrazas.

2.4.2 Caídas de Rocas

Considera el desprendimiento del material que conforma una ladera (rocas, tierra o ambos), teniendo como causa principal la gravedad terrestre y las características geomecánicas que posee el substrato rocoso. Para el área de estudio, se ha inventariado trece caídas de rocas, en las inmediaciones del fundo Carapongo, la planta de Sedapal, la Urb. San Antonio de Carapongo, Asociación de Vivienda El Portillo, Asociación María Magdalena, Urb. Las Terrazas de Caraponguillo y zona arqueológica Unión Ñaña. Estos eventos ocurren en zonas

de altas pendientes y están asociados al fracturamiento, grado de meteorización y a la alteración de los macizos rocosos (ver Figuras 2.7 y 2.8).



Figura 2.7: La línea segmentada de color rojo muestran caídas de rocas en el extremo norte del frontis de la planta de Sedapal.



Figura 2.8: La línea segmentada de color rojo muestran caídas de rocas en el extremo noreste del frontis de la planta de Sedapal.

2.5 INUNDACIONES

En el área de Carapongo, el río Rímac cruza desde el sector denominado Pariachi (altura a la entrada a Huaycán) hasta el puente tipo Bayli en Santa Clara con un desnivel de 100 m

aproximadamente. En este tramo existe una distancia de 6 km aproximadamente y en él se ha delimitado 3 zonas críticas, que por factores naturales y/o antrópicos, presentan algún grado de peligro de inundación que podría afectar a las viviendas asentadas en las zonas ribereñas del área de Carapongo. Estas zonas presentan las siguientes características.

En la zona **R.CARAP.01** (Figura 2.9), se observa que el cauce del río Rímac se acorta en el sector denominado Pariachi, ampliándose gradualmente hacia aguas abajo del mencionado sector. En esta zona se puede observar varios cambios en la dirección de flujo del río, lo que ha dado paso a la formación de incipientes terrazas de inundación. Peligro de inundación alto.

En la zona **R.CARAP.02** (Figura 2.10), se observa que el cauce del río se muestra amplio hasta con 120 m aproximadamente, aguas arriba del Puente Bayli, para luego acortarse aguas abajo, hasta 40 m aproximadamente. Este escenario permite observar en el primer sector, la presencia de terrazas amplias de inundación, las cuales desaparecen gradualmente en el segundo sector. Peligro de inundación moderado.



Figura 2.9: Obsérvese las terrazas de inundación conformadas por material fluvial redondeados, encontrándose desde arena gruesa hasta grandes bloques, lo cual indica el cambio del régimen del caudal del río. Margen izquierdo del río presenta alto peligro de inundación.

En la zona **R.CARAP.03** (Figura 2.11), se muestra, que a la altura de la Urb. San Antonio de Carapongo, la ribera del margen derecho del río Rímac está conformada por terrenos agrícolas y de presentarse el desborde del río no representaría peligro alguno. Contrariamente, aguas abajo

de dicha zona, la ribera del margen izquierdo ha sido ocupada por viviendas, convirtiéndose en un área altamente susceptible a inundaciones.



Figura 2.10: En la imagen se diferencian dos sectores, aguas arriba y aguas abajo del puente tipo Bayli. El primero presenta un cauce amplio; mientras que, el segundo el cauce es estrecho. Este último, por su morfología considerada a un área susceptible al desbordamiento del río.



Figura 2.11: Obsérvese que la Urb. San Antonio de Carapongo se asienta a 150 m del lecho del río. Por otro lado, aguas abajo se observa que las viviendas han sido construidas a escasos 30 m del lecho, siendo estas últimas más susceptibles a peligros de inundación que las viviendas asentadas en la urbanización antes indicada.

Finalmente, para una evaluación más detallada se requiere contar con datos históricos de caudal, además de las secciones topográficas que permitan estimar la morfología del cauce del río, y con ellos realizar modelamientos numéricos de inundación a fin de identificar con detalle las zonas susceptibles a estos eventos. Esta información es primaria para la gestión del riesgo orientado a reducir la vulnerabilidad.

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

3.1 INTRODUCCIÓN

La caracterización de sitio es uno de los pasos más importantes en la ingeniería geotécnica, las técnicas sísmicas permiten la identificación de las propiedades del suelo a gran escala, en condiciones inalteradas y a muy baja tensión. El análisis de la propagación de las ondas sísmicas es una herramienta para la identificación de las propiedades del suelo; las características elásticas y disipativas se obtienen en condiciones dinámicas.

El uso de ondas superficiales para la caracterización del subsuelo poco profundo se emplea recientemente en las últimas décadas, a ser de creciente interés entre los ingenieros geotécnicos y geofísicos. Empleando técnicas de adquisición, modelado y algoritmos de inversión concebidos con diferentes aplicaciones y enfoques que se describen en este capítulo.

El trabajo realizado tiene un punto de vista geofísico, y se centra en el ensayo, con el objetivo de estudiar el mejor procedimiento para obtener una estimación más precisa y fiable de las propiedades del suelo.

En los estudios sísmicos tradicionales, el ruido fue considerado como algo negativo y que hay que eliminar o evitar. En la actualidad, lo que hasta hace pocas décadas constituía un problema en los estudios de propagación y atenuación de ondas sísmicas se ha convertido en una herramienta excelente para caracterizar los efectos locales y las propiedades dinámicas del lugar de registro y de las estructuras. Así pues, el ruido es la señal y las ondas que lo integran se llaman en inglés “microtremors”; en castellano no hay uniformidad en el nombre aplicado y se usan con el mismo significado las palabras microtemblores, microtremores, microvibraciones, vibración ambiental y ruido cultural (Espinoza, 1999), (ver Figura 3.1).

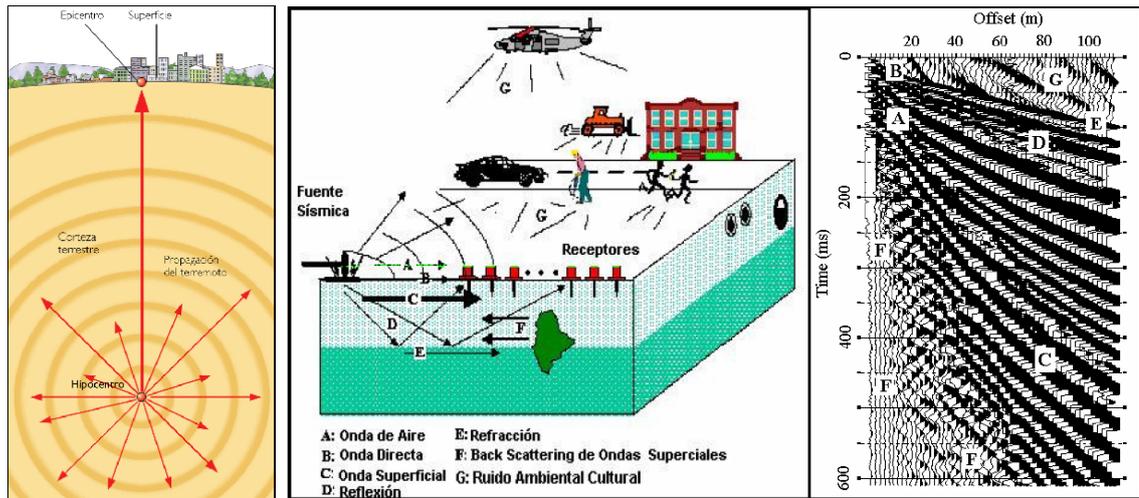


Figura 3.1: Fuente sísmica (izquierda) y Representación de los tipos de ondas en registros multicanales (derecha).

Uno de los tópicos básicos que controla la utilidad de los microtemores y microsismos para estimar los efectos de sitio, radica en entender la naturaleza del campo de ondas del ruido. Originalmente, Kanai (et al 1961) asumió que el ruido está incluido principalmente en las ondas S que incidían verticalmente, y por esta razón eran muy similares las señales de los terremotos. Esta controversial suposición; sin embargo, fue descartada por numerosos autores. Ellos mostraron la gran proporción que tienen las ondas superficiales en el ruido, y propusieron ciertas técnicas (análisis f-k e incluso la relación espectral entre la componente horizontal y vertical H/V) para procesar las grabaciones de ruido basadas en la suposición que éste consiste principalmente de ondas superficiales (Espinoza, 1999).

Los microtemores ocurren en el intervalo de frecuencias de 0.01 a 30 Hz; sin embargo, en la exploración geofísica sólo interesa la banda de 0.1 a 10 Hz, ya que en esta banda parte de la energía se transmite como ondas superficiales similares a la onda Rayleigh, cuyos modos y velocidades de propagación se pueden estimar y medir con arreglos instrumentales para obtener información sobre las características de los parámetros elásticos de la corteza terrestre, hasta profundidades de 20 km (Flores et al., 2004).

En cuanto a las fuentes que producen las vibraciones ambientales se tiene (Bard, 1998):

- ❖ En períodos largos (por debajo de 0,3 a 0,5 Hz), las vibraciones ambientales son causados por ondas oceánicas a grandes distancias. La amplitud espectral es generalmente estable por unas pocas horas y muy bien correlacionadas a gran escala con las condiciones meteorológicas del océano.

- ❖ En períodos intermedios (entre 0,3-0,5 Hz y 1 Hz, aproximadamente), son generados principalmente, tanto por ondas del mar cercanas a la costa como por el viento, éste último posee una estabilidad mucho menor.
- ❖ En períodos cortos (entre 1-30 Hz), están vinculados a la actividad humana.
- ❖ Esta distinción entre el ruido de período largo ($T > 1$ seg) y período corto ($T < 1$ seg) corresponde a la tradicional distinción entre *vibraciones ambientales* con un origen artificial y *microsismos* con un origen natural, y el paso de ondas sísmicas en terrenos de diferente densidad varia el registro sísmico (ver Figura 3.2).

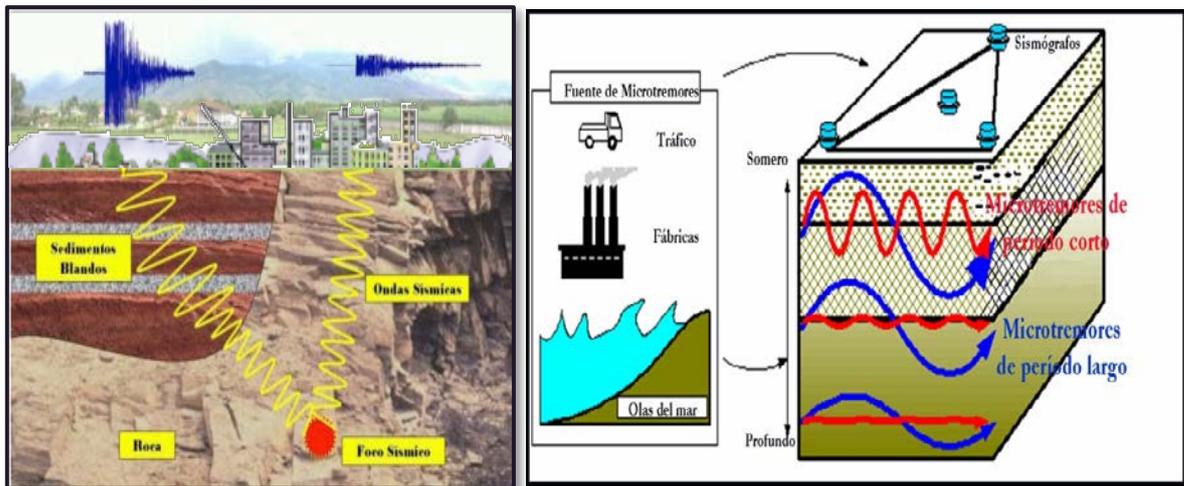


Figura 3.2: Izquierda: Esquema del paso de Ondas Sísmicas en terrenos de distinta Competencia, Derecha: clasificación de vibraciones ambientales.

El método de la Sísmica de Microtremores, introducido por Louie (2001), aparece descrito a veces en la bibliografía anglosajona como Refraction Microtremor (ReMi) y presenta algunas similitudes con los métodos SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) y MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), basados en el estudio de las ondas superficiales del tipo Rayleigh y los cuales serán explicados posteriormente.

El método de Sísmica de Microtremores consiste básicamente en determinar la distribución de los valores de la velocidad de transmisión de las ondas de cizalla (V_s) a través del terreno, a partir del análisis espectral del ruido sísmico ambiental convenientemente registrado.

A fin de comprender mejor el significado y la representatividad de los resultados de cualquier estudio del terreno realizado mediante el método de la sísmica de microtremores, conviene recordar los conceptos básicos de la teoría de ondas, la clasificación de las mismas y sus diversas aplicaciones en la geofísica tradicional.

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TEORÍA DE ONDAS

La Figura 3.3 muestra de manera práctica los conceptos básicos de la teoría de ondas. La frecuencia f es el número de ciclos por unidad de tiempo, el período T es el tiempo por ciclo y la longitud de onda λ , es la distancia más corta entre dos puntos en la onda que tienen características idénticas:

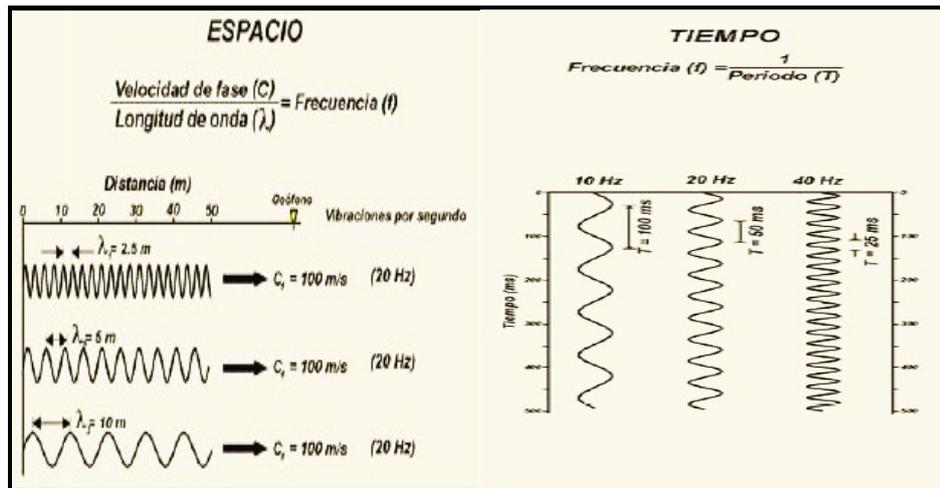


Figura 3.3: Esquemización de los conceptos básicos de la teoría de ondas.

3.2.1 Series de Tiempo y Transformada de Fourier

La transformada de Fourier consiste en una generalización que permite efectuar el análisis (descomposición) espectral de señales no periódicas de energía finita. El análisis de Fourier de las señales de este tipo (o series de tiempo) obliga a pensar en la frecuencia como una nueva variable continua. En la Figura 3.4, se explican esquemáticamente estos conceptos.

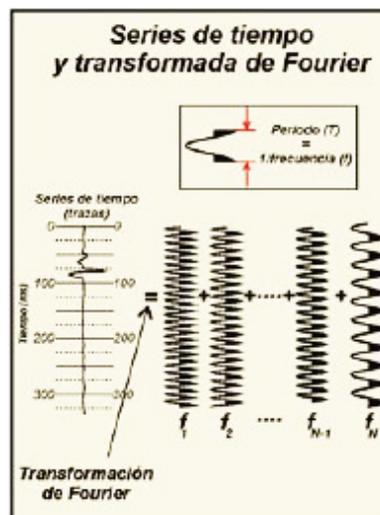


Figura 3.4: Series de tiempo y Transformada de Fourier.

3.2.2 Velocidad de Grupo y Velocidad de Fase

3.2.2.1 Velocidad de Grupo

Es la rapidez en la cual la superficie de una onda y la energía de una onda, viajan en una dirección dada radialmente hacia fuera, desde una fuente puntual en un medio homogéneo (Figura 3.5). Si el medio es atenuante, la velocidad varía con la frecuencia (debido a que la atenuación implica dispersión de frecuencia); si es anisotrópico, varía con la dirección. En ambos casos, las expresiones teóricas para la velocidad de grupo son obtenidas diferenciando la frecuencia con respecto al vector de onda. La velocidad de grupo se puede obtener a partir de mediciones de ondas, dividiendo la distancia recorrida en un tiempo a partir de una fuente puntual (Winterstein, 1990).

3.2.2.2 Velocidad De Fase

Es la rapidez en la cual un punto de una fase de ondícula constante viaja en dirección normal a la superficie de la onda en un medio homogéneo (Figura 3.5). Esta es la rapidez de una onda plana que viaja en la misma dirección. En un medio anisotrópico, la velocidad de fase está sujeta a la dispersión angular; es decir, la rapidez varía con el ángulo. En un medio atenuante, la velocidad de fase está sujeta a la dispersión de la frecuencia; es decir, la rapidez varía con la frecuencia. (Winterstein, 1990).

La velocidad de fase, a diferencia que la velocidad de grupo, no se puede obtener directamente de mediciones de ondas, dividiendo la distancia recorrida en un tiempo, a menos que la fuente genere ondas planas. (Winterstein, 1990).

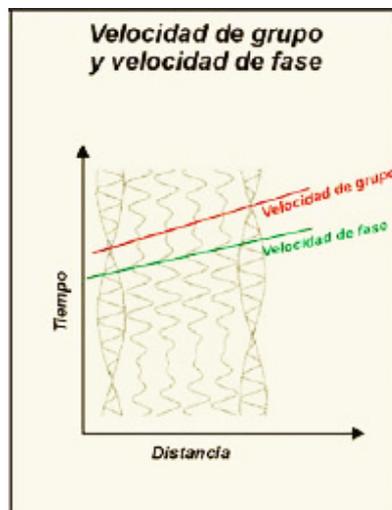


Figura 3.5: Velocidad de grupo y velocidad de fase.

3.3 TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS

Existen dos tipos principales de las ondas sísmicas: Ondas Corpóreas y Ondas Superficiales. Las ondas Superficiales se propagan a lo largo de la superficie de la tierra y son de frecuencia más baja que las ondas corpóreas.

3.3.1 Ondas Corpóreas

Las ondas corpóreas se propagan a través de las capas internas de la Tierra, y se clasifican como ondas P y las ondas S. Estas ondas son de mayor frecuencia que las ondas superficiales.

3.3.1.1 Ondas P

Son también llamadas Ondas de Compresión o Primarias “P”, debido a que se propagan a través de un medio más rápido que los otros tipos de ondas. En las ondas P las partículas que constituyen el medio son desplazadas en la misma dirección que la propagación de la onda, en este caso, la dirección radial. Así que, el material se extiende y se comprime a medida que las ondas P se propagan a través del medio. Las ondas P son análogas a las ondas sonoras que se propagan en el aire.

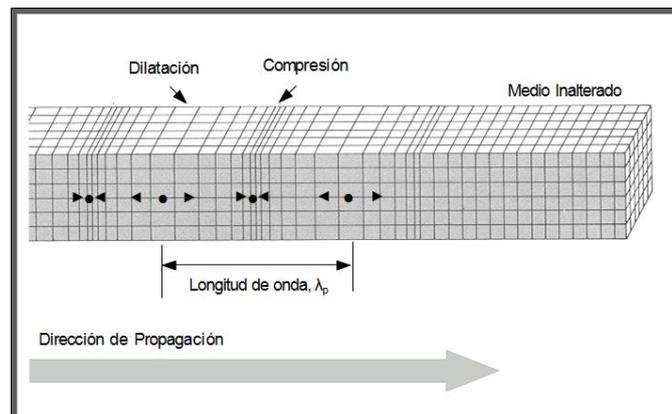


Figura 3.6: Modo de propagación de las ondas P.

En el procesamiento sísmico, se asume que las ondas P (Figura 3.6) solo, viajan a través de materiales isótropos y homogéneos. Si los módulos de elasticidad (K) y la densidad aparente (R) de las rocas son conocidos, la velocidad de la onda P se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$V_P = \sqrt{\frac{K + 4/3\mu}{\rho}}$$

Características de las Ondas P:

- a. *Es una onda de sonido o presión.*
- b. *Siempre es la primera onda sísmica que llega.*
- c. *Su velocidad es más rápida de todas las ondas sísmicas.*
- d. *Su movimiento de las partículas es en la dirección de propagación de la onda.*
- e. *Se puede propagar en sólidos o líquidos (petróleo, gas y agua).*

3.3.1.2 Ondas S

Las ondas S, también llamadas ondas de cizalla, es el segundo tipo de ondas corpóreas y se forman cuando se aplica energía en una dirección paralela a la superficie de un medio. Las ondas S no se propagan a través de los fluidos. La velocidad de las ondas S se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

La velocidad de las ondas P es mayor que la onda S y su relación es:

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$$

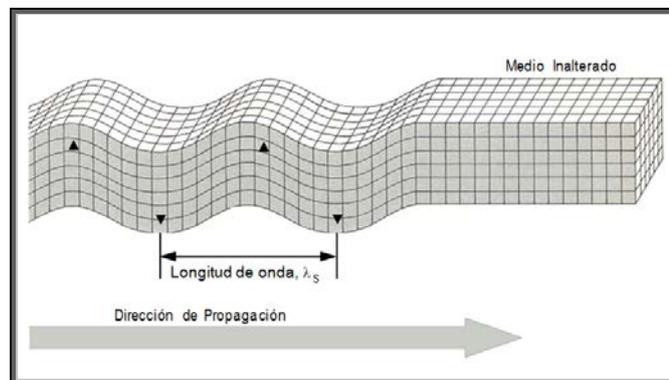


Figura 3.7: Modo de propagación de las ondas S.

Características de las Ondas S:

- a. *El movimiento de las partículas bajo la influencia de la onda está en la dirección de la energía aplicada y es perpendicular a la propagación de la onda.*
- b. *Las ondas S sólo pueden propagarse en sólido.*
- c. *No hay compresión y expansión como resultado del movimiento de las partículas, y por lo tanto ninguna perturbación de la presión.*

d. Se puede detectar ondas S a través de la medición del movimiento de las partículas.

3.3.2 Ondas Superficiales

Las ondas superficiales son ondas que se propagan a lo largo de la superficie de la Tierra. Sus amplitudes en superficie pueden ser muy largas; sin embargo, decaen exponencialmente con la profundidad. Las ondas superficiales se propagan más lentamente que las ondas S y se generan con menor eficiencia por fuentes enterradas, además tienen amplitudes que decaen más lentamente con la distancia desde la fuente.

Existen dos clases de ondas superficiales, ondas *Love* y ondas *Rayleigh*, que se diferencian por el tipo de movimiento de sus partículas. Las ondas *Love* se originan en la interfase de dos medios con propiedades mecánicas diferentes; en este caso el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la perturbación, similar a las ondas S, pero solo ocurre en el plano de la superficie terrestre. En cambio, las ondas *Rayleigh* se forman en la superficie de la Tierra y hacen que las partículas se desplacen según una trayectoria elíptica retrógrada (ver Figura 3.8). Sin embargo, como las propiedades de las ondas *Rayleigh* son dependientes de la frecuencia en medios verticalmente heterogéneos, estos tipos de ondas superficiales son utilizadas para representar y caracterizar el subsuelo superficial; por lo tanto, se realiza un mayor análisis de estas ondas.

3.3.2.1 Ondas Rayleigh

Las ondas *Rayleigh* son ondas superficiales que viajan a lo largo de una superficie “libre”, tal como las interfaces tierra-aire o tierra-agua (Xia et al., 1999). Estas ondas se caracterizan por tener, relativamente, baja velocidad, baja frecuencia y gran amplitud (Figura 3.8). Las ondas *Rayleigh* son resultado de la interferencia de ondas P y SV. En un medio homogéneo, el movimiento de las partículas del modo fundamental de las ondas *Rayleigh* que se desplazan de izquierda a derecha, es elíptico a lo largo de la superficie libre, en dirección de las agujas del reloj (retrógrado). El movimiento está limitado a un plano vertical, consistente con la dirección de propagación de la onda. El ground roll es un tipo particular de las ondas *Rayleigh* y viaja a lo largo o cerca de la superficie del suelo. Aunque el ground roll es considerado “ruido” en estudios de ondas corpóreas (es decir, perfiles de reflexión y refracción), sus propiedades dispersivas son utilizadas para inferir propiedades elásticas cercanas a la superficie (Park et al., 1999).

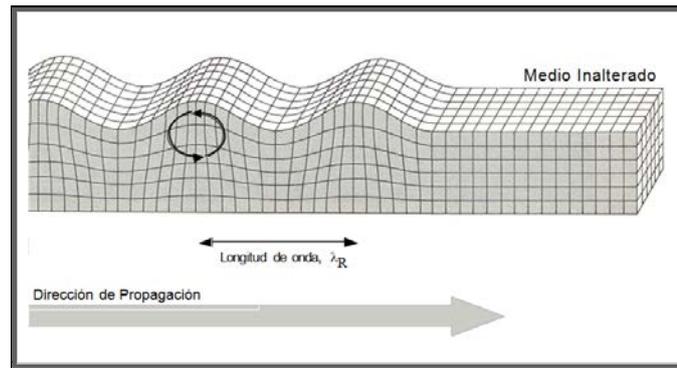


Figura 3.8: Modo de propagación de las ondas Rayleigh.

3.3.2.2 Dispersión de Ondas Rayleigh

En la mayoría de estudios sísmicos superficiales, cuando se usa una fuente de ondas compresionales, más de dos tercios de la energía sísmica generada se propaga como ondas Rayleigh. Asumiendo que existen variaciones verticales de velocidad, cada componente de frecuencia (f) de una onda superficial tiene una velocidad de propagación diferente (llamada velocidad de fase, C_f). Esta característica única da como resultado una longitud de onda diferente (λf), por cada frecuencia propagada. Esta propiedad es llamada dispersión (Park et al., 1999) (Figura 3.9).

Las longitudes de ondas más grandes penetran a mayor profundidad para un modo dado, generalmente exhiben velocidades de fase mayores, y son más sensibles a las propiedades elásticas de las capas más profundas. Mientras que, las longitudes de ondas más cortas son sensibles a las propiedades físicas de las capas superficiales. Por esta razón, un modo particular de las ondas superficiales poseerá una velocidad de fase única para cada longitud de onda, produciendo así la dispersión de la señal sísmica (Xia et al., 1999).

La velocidad de onda S puede ser obtenida invirtiendo la velocidad de fase dispersiva de la onda superficial (Rayleigh y/o Love). En el caso de un semi-espacio sólido y homogéneo, la onda Rayleigh no es dispersiva y viaja con una velocidad aproximada de $0.9194v$, cuando el módulo de Poisson es igual a 0.25, y donde v es la velocidad de la onda S en el semi-espacio. Sin embargo, en el caso que exista una capa sobre ese semi-espacio, las ondas Rayleigh se convierten en dispersivas y sus longitudes de ondas están en los rangos de 1-30 veces el espesor de la capa (Xia et al., 1999), demostrando que mediante la inversión de los datos de dispersión de las ondas Rayleigh de altas frecuencias (análisis de la matriz Jacobiana), se pueden obtener velocidades confiables de onda S cercanas a la superficie.

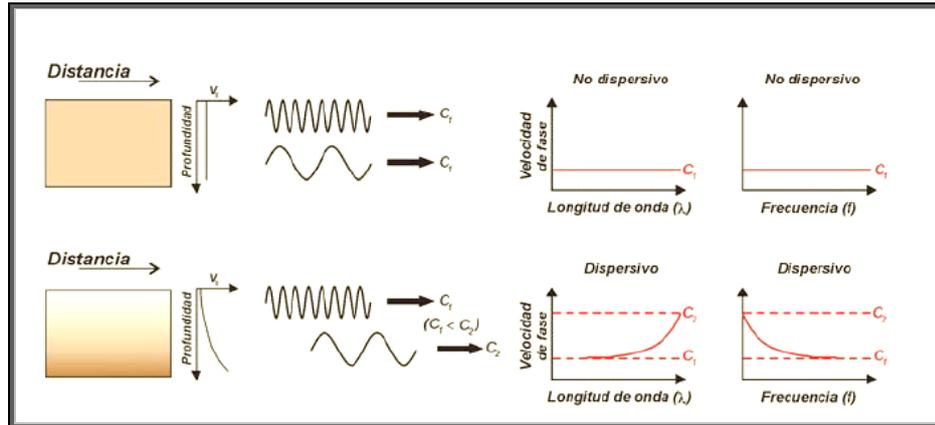


Figura 3.9: Dispersión en la transmisión de ondas Rayleigh.

3.4 MÉTODO DE NAKAMURA (H/V)

El método propuesto por Nakamura (1989) para estimar la función de transferencia aproximada de las capas superficiales de suelo supone que el ruido de los microtemblores está compuesto por varios tipos de ondas.

El método pretende eliminar el efecto de las ondas superficiales tipo Rayleigh. Se considera que los microtemblores en la base rocosa son similares horizontal y verticalmente y solo son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el substrato rocoso. Se considera además que los microtemblores horizontales se amplifican debido a multirreflexiones de la onda S, en tanto que los microtemblores verticales lo hacen por multirreflexiones de la onda P.

3.4.1 Microtemblores

A finales de los años cincuenta en Japón, se publicaron numerosos trabajos sobre microtemblores. Kanai y Tanaka (1961) observaron que con el análisis de microtemblores se obtienen periodos predominantes similares a los observados con movimientos sísmicos fuertes. Con sus resultados se estableció una clasificación de las condiciones del suelo en un sitio, usando solamente registros de microtemblores.

La medición y el análisis de microtemblores se hizo muy popular en México desde el terremoto ocurrido en 1985, ya que se encontró que registraron satisfactoriamente la condición del suelo en las áreas afectadas de la ciudad de México (Seo, 1995).

Los microtemblores son vibraciones generadas por eventos artificiales producto de la actividad humana tales como tráfico, maquinaria, etc. cuya principal ventaja es su

estabilidad (Moreno y Alfaro, 2002). Están compuestos principalmente por ondas Rayleigh y ondas de Cortante (S). Contrario a los microsismos, son de periodo corto (Aki, 1957).

3.4.2 Cocientes Espectrales H/V

Nogoshi e Igarashi (1971), citado en Bard (1999), introdujeron por primera vez la idea de ver el cociente espectral H/V de una sola estación entre las componentes horizontal y vertical. Ellos mostraron su relación con la curva de elipticidad de la onda Rayleigh, y se aprovechó de la coincidencia entre el máximo de frecuencia más baja de la curva del cociente espectral H/V con la frecuencia de resonancia fundamental del suelo, utilizado como un indicador de la estructura subterránea. Esta técnica fue retomada más tarde por Nakamura (1989) quien afirmó que este cociente ANHV (f) es una estimación fiable de la función de transferencia del sitio de las ondas S HT (f). Esta técnica por su simplicidad y economía se extendió rápidamente por casi todo el mundo, a otros controles, o incluso a aplicaciones directas (Bard, 1999).

La interpretación de Nogoshi e Igarashi se sustenta en la suposición de que el ruido predominantemente consta de ondas superficiales. Bajo ese supuesto, muchos autores están de acuerdo en los siguientes argumentos:

- a. El cociente espectral H/V está básicamente relacionada con la elipticidad de las ondas Rayleigh, debido a la predominancia de este tipo de ondas en la componente vertical.
- b. Esta elipticidad depende de la frecuencia y presenta un pico agudo alrededor de la frecuencia fundamental de los sitios que exhiben un alto contraste de impedancia suficiente entre la superficie y los materiales profundos. Este pico se relaciona con una fuga de la componente vertical, correspondiente a una inversión del sentido de rotación de la fundamental onda Rayleigh, de izquierda a baja frecuencia.

La interpretación del Nakamura del cociente H/V se basa en la suposición de que el efecto de las ondas superficiales puede ser "eliminado", de modo que el resultado final, está en relación directa con las funciones de transferencia para las ondas S. Su primera explicación (Nakamura, 1989) se basa en tres puntos fuertes y recibió muchas críticas por varios expertos (Kudo, 1995 citado en Bard, 1999), lo que llevó a una segunda explicación,

ligeramente modificado (Nakamura, 2000). En esencia se separa los microtremores en las ondas de cuerpo y las ondas superficiales, la técnica asume que:

- a. Los microtremores consisten en ondas Rayleigh, propagándose en una capa que está encima de un semiespacio.
- b. El movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciadas.
- c. Las fuentes locales no afectan el movimiento de los microtremores en la base del estrato del suelo. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$SE(w) = \frac{Hs(w)}{Hb(w)} \quad \dots(1)$$

Dónde: $SE(w)$ = Espectro de los efectos de sitio

$Hs(w)$ = Espectro de la onda horizontal en superficie

$Hb(w)$ = Espectro de la onda horizontal en la base del movimiento

Puesto que las ondas internas de los microtremores contienen ondas superficiales, es necesario corregirlas removiendo los efectos de las ondas superficiales. Nakamura, asume que el efecto de las ondas Rayleigh (As), está incluido en el espectro de ondas verticales superficiales (Vs) y no en la base del movimiento (Vb) y consecuentemente puede ser definido como:

$$AS(w) = \frac{Vs(w)}{Vb(w)} \quad \dots(2)$$

Removiendo el efecto de las ondas Rayleigh, el espectro de sitio modificado queda como:

$$SM(w) = \frac{SE(w)}{AS(w)} = \frac{\frac{Hs(w)}{Hb(w)}}{\frac{Vs(w)}{Vb(w)}} \quad \dots(3)$$

Nakamura demostró experimentalmente, usando registros directos y de microtremores que:

$$\frac{Vb(w)}{Hb(w)} \approx 1 \quad \dots(4)$$

Sustituyendo la ecuación 4 en 3 queda que:

$$SM(w) \approx \frac{Hs(w)}{Vs(w)} \quad \dots(5)$$

Por lo que Nakamura concluyó que el cociente espectral entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio puede ser usada como un estimativo de los efectos de sitio para ondas internas. La técnica de Nakamura es muy atractiva, ya que elimina los efectos de fuente, patrón de radiación y trayecto que se presentan en los

sismos. En la Figura 3.10 se muestra un diagrama de flujo que muestra como estimar $S_M(\omega)$.

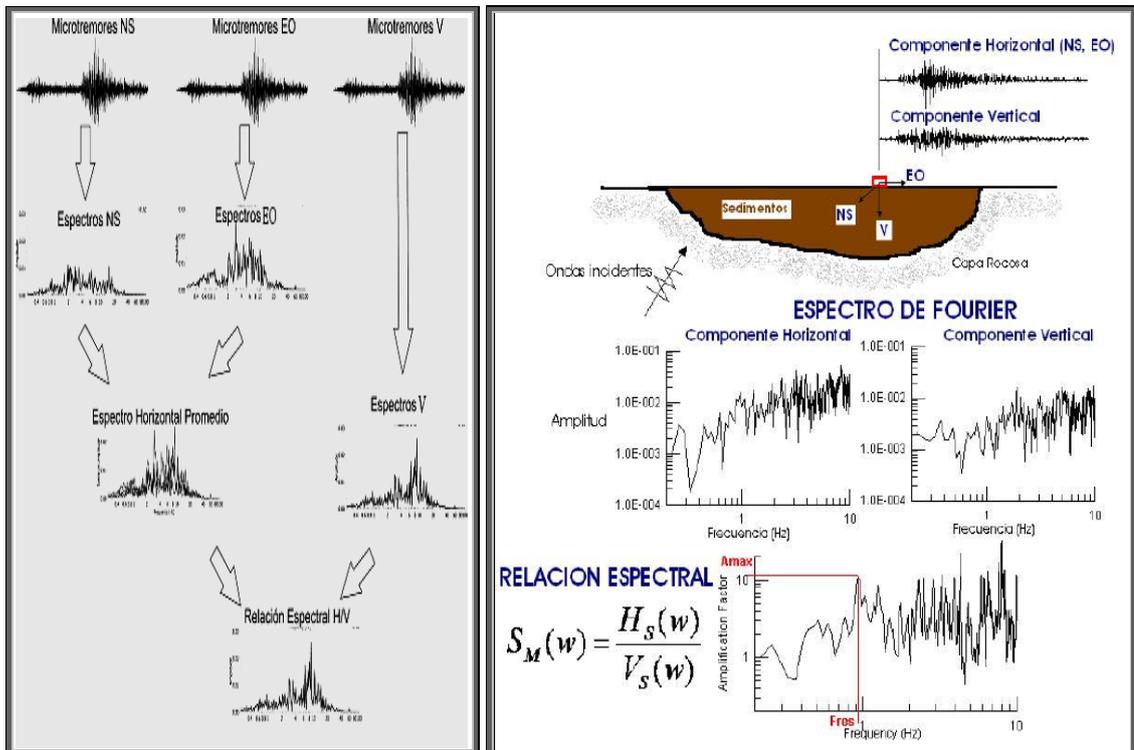


Figura 3.10: Diagrama para el procesamiento de señales con la técnica de cocientes espectrales H/V.

El intervalo de periodos a estudiar también está relacionado con las características geométricas y geotécnicas de la cubeta donde se realiza el estudio pues el periodo fundamental está relacionado con estos parámetros. En general, para una cubeta con una estructura simple se puede aproximar su periodo fundamental como:

$$T_o = \frac{4H}{\beta}$$

Dónde: H es la profundidad de la cubeta y β la velocidad de promedio de las ondas de cizalla en ella.

Los análisis de estacionariedad permiten identificar la presencia de fuentes fijas que excitan el suelo a una determinada frecuencia, como puede observarse en la Figura 3.11, en la cual aparece frecuencia espuria en 3 Hz y alguna fuente que excita durante ciertas horas del día la frecuencia alrededor de los 16 Hz para el caso del suelo sedimentario de bajo espesor se descarta la presencia de fuentes fijas que no actúen durante todo el día. También es importante mencionar que las mediciones y resultados son independientes de la hora del día en que se realicen, o lo que es lo mismo del nivel de ruido ambiente existente.

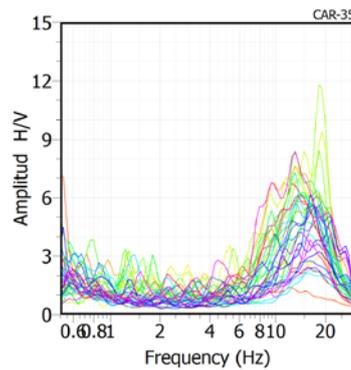


Figura 3.11: Imagen de la señal H/V en afloramiento rocoso.

Por otra parte, el efecto de la onda Rayleigh aparece resaltado en el movimiento vertical. De esta forma, la magnitud de su efecto puede ser conocida a partir de la relación entre el movimiento vertical en superficie y el movimiento vertical en el afloramiento rocoso.

Normalmente, el efecto de la onda Rayleigh es cercano a cero cuando la relación es aproximadamente la unidad suele ser material sedimentario (ver Figura 3.12). En la medida en que la relación aumenta, el efecto de las ondas Rayleigh puede volverse crítico. La propuesta de Nakamura pretende eliminar este efecto.

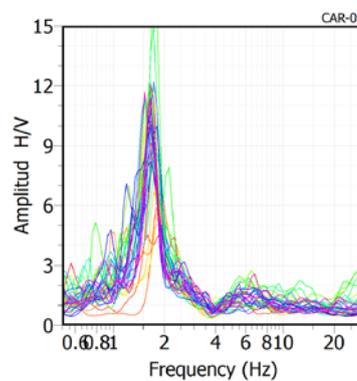


Figura 3.12: Ensayo de estacionariedad en material sedimentario de bajo espesor.

3.4.3 Ventajas del Método

Sin lugar a dudas la ventaja más importante del método de Nakamura es la facilidad de la realización de las mediciones y el procesamiento de las mismas, lo cual se traduce en bajos costos. A lo largo del texto se ha recalcado el hecho de que Nakamura estima una función de transferencia aproximada de los suelos sedimentarios ubicados sobre un basamento rocoso. El método es capaz de diferenciar diferentes tipos de material (Alfaro, 1997) no sólo en cuanto al período predominante sino también en cuanto a la amplitud del microtemblor.

Otra de las ventajas es que las mediciones se pueden realizar indistintamente con acelerómetro o con velocímetro (Alfaro, 1997) siempre y cuando los niveles de ruido ambiental son de cierta consideración, como es el caso de las grandes ciudades (Figura 3.13).

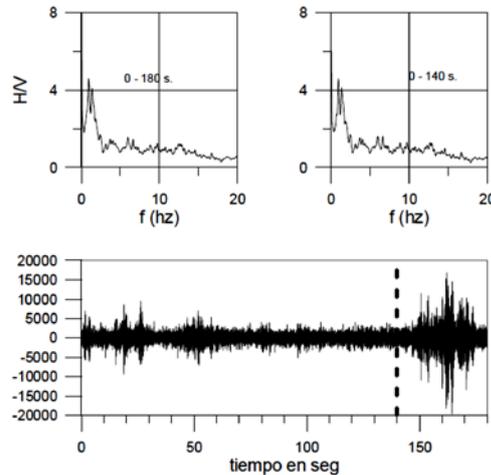


Figura 3.13: Comparación entre la función de transferencia utilizando toda la longitud del registro (0-180 s.) o la parte con amplitudes medias constantes (0-140 s.). Registro.

Otra de las ventajas encontradas; es que no es necesario descartar del análisis aquellos intervalos del registro en los que hay fuentes puntuales identificadas, como es el caso del paso de un coche o de un peatón en las cercanías del instrumento de medición.

3.5 MÉTODO SÍSMICA DE REFRACCIÓN (MASW)

Después método de gravedad, el método de refracción sísmica fue desarrollado para la exploración de hidrocarburos. En 1924 se utilizó por primera vez para la delimitación de las minas de sal de poca profundidad. Hoy en día el método de sísmica de refracción es ampliamente utilizado para delimitar las capas superficiales del suelo y de baja velocidad. Además se considera como una herramienta valiosa para la geofísica y la ingeniería cerca de la superficie, tales como la delimitación de la capa rocosa y la determinación de las propiedades de los estratos superficiales y profundos.

3.5.1 Adquisición de Datos

Una grabadora de refracción sísmica por lo general consiste de 24 canales cada uno de los cuales está conectado a un geófono. Los geófonos se colocan a lo largo de un perfil con intervalos de geófonos variables.

Dos disparos se realizan en ambos extremos del perfil y uno al medio, el primer geófono cerca # 1 se llama hacia adelante disparando, mientras que el segundo, cerca de geófono # 24 se llama tiro inverso. Esto da lugar a dos monitores sísmicos cada uno con 24 sismogramas (trazas) como se muestra a continuación (ver Figura 3.14).

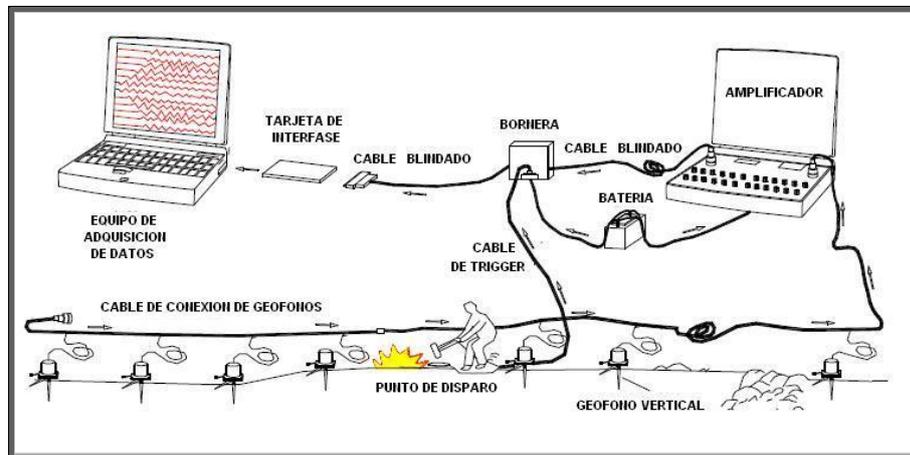


Figura 3.14: Diagrama de adquisición de datos 24 geófonos.

3.5.2 Técnica MASW

La técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) (Park et al., 1999), es un método sísmico no destructivo que evalúa el espesor del pavimento, así como también los módulos elásticos lineales de los materiales por debajo del pavimento. Esta técnica ha sido desarrollada en respuesta a los defectos de SASW en la presencia de ruido. Dicho método analiza las propiedades de dispersión de los tipos de ondas sísmicas superficiales (modos fundamentales de ondas Rayleigh), las cuales se propagan horizontalmente a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores.

Los registros simultáneos de 12 o más receptores en distancias cortas (1-2 m) y largas (50-100 m) desde una fuente impulsiva o vibratoria, proporcionan una redundancia estadística para medir velocidades de fase. Los datos multicanales muestran un formato de frecuencia variable con el tiempo, además permiten la identificación y rechazo de modos no fundamentales de ondas Rayleigh y otro ruido coherente a partir de los análisis (Louie, 2001).

La configuración de campo básica y la rutina de adquisición para el MASW (Figura 3.15) generalmente es la misma que se usa en los estudios convencionales de CMP (Punto Medio Común) con reflexiones de ondas corporales. Algunas medidas empíricas del MASW son inconsistentes con la optimización de las reflexiones (Park et al., 1999).

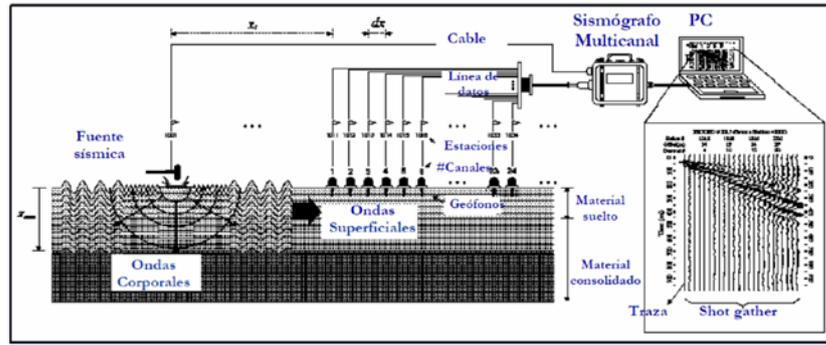


Figura 3.15: Modo de empleo de la técnica MASW.

La adquisición consiste en recoger datos en bruto de la propagación de la onda sísmica que contiene ondas Rayleigh en una banda de frecuencia amplia. A partir de estos datos, el procesamiento extrae la información sobre la dispersión de las ondas Rayleigh, que se utiliza a continuación, por la inversión para estimar los parámetros del modelo, es decir, las propiedades mecánicas del subsuelo. El procedimiento de inversión se basa, por supuesto, en el modelado directo que es capaz de calcular la propagación de la onda de Rayleigh para un modelo conocido (Figura 3.16).

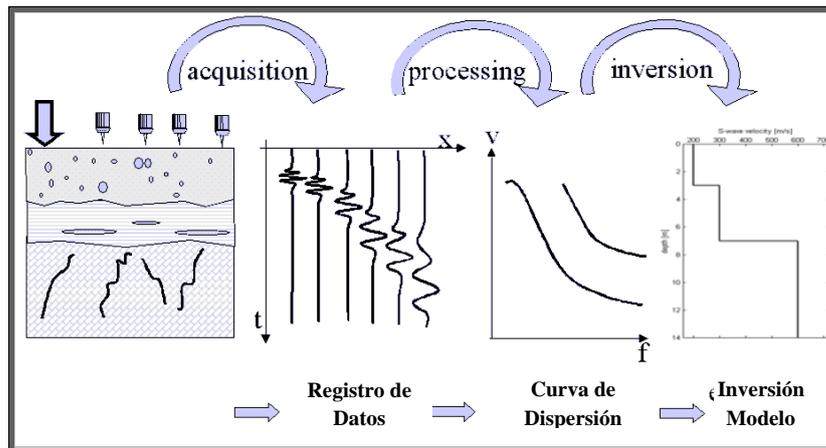


Figura 3.16: Esquema de los tres pasos del método.

La velocidad de cizalla (V_s) es un parámetro fundamental en la zonificación sísmica, ya que permite categorizar los suelos según el código Internacional de la edificación (IBC 2000).

Tabla 3.1: Clase de suelos según la V_s IBC 2000

Clase	Descripción	V_s^{30} (m/s) Según el IBC 2000
A	Roca Dura	$V_s > 1524$
B	Roca	$762 < V_s \leq 1524$
C	Suelo muy denso y/o roca blanda	$366 < V_s \leq 762$
D	Suelo rígido	$183 < V_s \leq 366$
E	Suelo blando	$V_s < 183$

3.5.3 Curva de Dispersión

La generación de una curva de dispersión es uno de los pasos más críticos para generar con precisión un perfil de velocidad de onda de cizalla. Las curvas de dispersión se muestran, generalmente, como la velocidad de fase versus la frecuencia (Figura 3.17). Esta relación se puede establecer calculando la velocidad de fase a partir de la pendiente lineal de cada componente del registro de frecuencia de barrido. La precisión de una curva de dispersión se puede aumentar haciendo el análisis y remoción del ruido sobre los datos del ground roll (Park et al., 1999).

Para obtener la curva de dispersión se procede:

- a. Se realiza la transformada rápida de Fourier (FFT) (Dziewonski, 1983) en el tiempo, donde se transforma la señal del dominio de tiempo al dominio de frecuencia con la siguiente ecuación.

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt$$

- b. Obteniendo una función dependiente de la posición y la frecuencia, como la que se muestra en la figura la cual muestra la componente de fase de cada señal.
- c. Se procede a la determinación de la curva de dispersión, en donde el programa calcula la Transformada Directa de Fourier. Y se determina la velocidad de fase para cada Δx , en la figura podemos ver la curva de dispersión del registro anterior donde se puede observar tanto el modo fundamental como el modo superior de la onda Rayleigh.

$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x, \omega) \cdot e^{i\omega \frac{x}{c}} dx$$

Donde la velocidad de fase es:

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta \phi_f(\omega)}$$

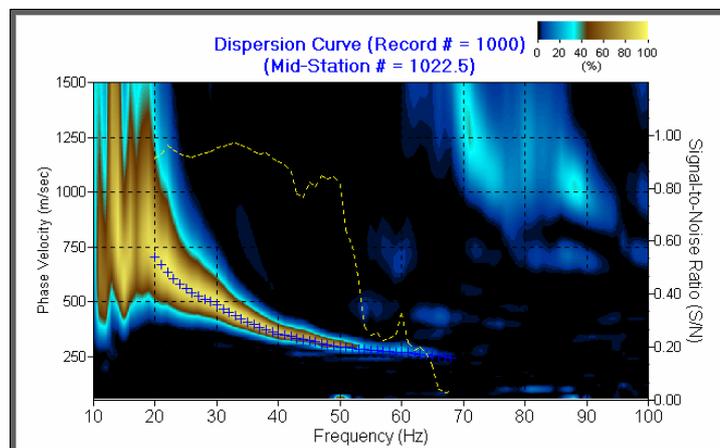


Figura 3.17: Curva de Dispersión de las ondas Rayleigh método MASW.

3.5.4 Inversión de la Curva de Dispersión

El proceso de inversión es el último paso del ensayo. Consta de la obtención de los parámetros del modelo de capas horizontales a partir de la curva de dispersión experimental global, efectuando en teoría el problema inverso (Figura 3.18).

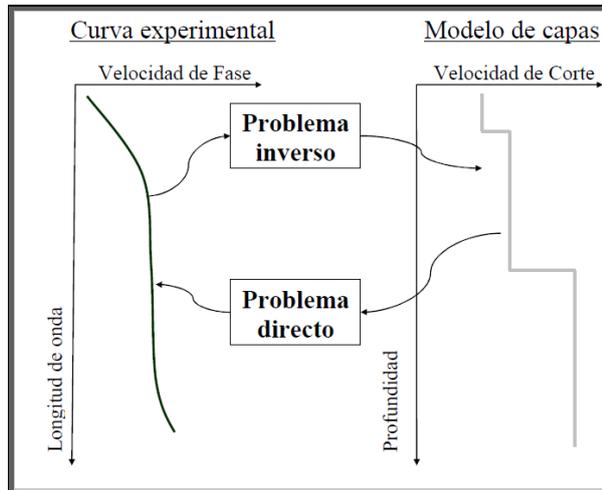


Figura 3.18: Problema directo e inverso en MASW.

El método MASW asume que las mayores llegadas energéticas grabadas son ondas Rayleigh, tomando en cuenta que los sismogramas originales no son guardados y toda la interpretación está hecha en el dominio de frecuencia. Donde el ruido sobrepase la potencia de la fuente artificial, como es común en áreas urbanas, o donde las fases de las ondas corporales sean más energéticas que las ondas Rayleigh, el método MASW da resultados confiables (Louie, 2001). Desarrollando en problema inverso se obtiene como producto final un modelo (ver Figura 3.19).

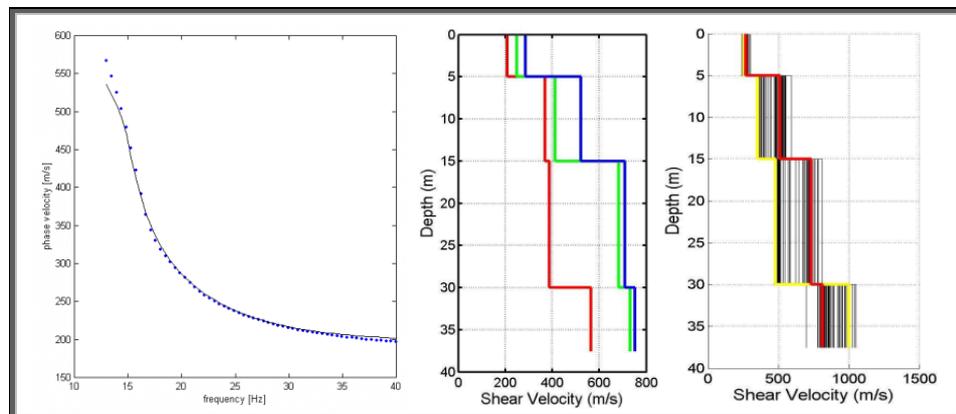


Figura 3.19: Curva de dispersión (izquierda) e inversión de perfiles Vs (derecha).

CAPÍTULO IV NORMA SISMORRESISTENTE

4.1 ANTECEDENTES

Los antecedentes para la norma de Ingeniería Sismorresistente han variado durante el transcurso del tiempo, aquí se muestra un breve resumen:

- **1964:** Primer proyecto de Norma Peruana, basada en la de SEAOC (Structural Engineers Association of California).

- **1970:** Primera Norma Peruana de nivel nacional.

Para la determinación de la fuerza sísmica lateral se utilizaba la siguiente expresión:

$$H = U K C P$$

H = Fuerza sísmica lateral.

U = Coeficiente sísmico según la regionalización y uso de la Edificación.

K = Tipo de estructura (sistema estructural)

C = Factor del % de carga permanente más carga viva (función del periodo de la estructura)

P = Peso de la edificación

No existía factor de amplificación de la fuerza y se indicaba que el profesional autor del proyecto determinaría el aumento de los coeficientes sísmicos que se pudiera requerir según la naturaleza del terreno.

- **1977:** Segunda Norma Peruana.

Se incorpora la norma básica de diseño al reglamento nacional de construcciones, la que reemplaza a la norma anterior.

$$H = \frac{ZUSCP}{R_d}$$

H = Fuerza cortante sísmica basal

Z = Factor debido a la zona

U = Factor debido al uso de la edificación

S = Factor debido al tipo de suelo

C = Coeficiente sísmico.

P = Peso de la edificación

➤ **1997:** Tercera Norma Peruana de diseño Sismorresistente E.030

Debido al sismo de 1996 ocurrido en Nazca, se observaron serios daños presentados en los colegios. En ese sismo se comprobó que las deformaciones laterales de las edificaciones eran mayores que los resultados que se obtenían con los coeficientes de la norma sísmica de 1977, por lo que se decide cambiar la norma.

El nivel de fuerzas no debería cambiarse, si no el cálculo de los desplazamientos laterales de entrepiso (estructuras más rígidas). Se hace una nueva norma, manteniendo el nivel de fuerzas, pero obteniéndose desplazamientos 2.5 veces mayores que los obtenidos con la antigua norma.

Para esto se cambian los coeficientes de la expresión general ($H = ZUSC / R$), cambiando los valores de R, ahora multiplicados por 2.5.

$$V = \frac{ZUSC}{R} P \quad C / R \geq 0.1 \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)^{1.25}$$

➤ **2003:** Actualización de la Tercera Norma Peruana

Debido al sismo del 2001 ocurrido en Moquegua, Arequipa y Tacna, se decide hacer algunos ajustes a la norma sísmica del 2003.

En esta oportunidad se amplifican las fuerzas sísmicas por 1.25 de tal manera de tener un sismo amplificado a cargas últimas, lo que implicaba modificar los factores de reducción sísmica “R”.

$$V = \frac{ZUSC}{R} P \quad C / R \geq 0.125 \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right); C \leq 2.5$$

4.2 CONDICIONES LOCALES DE SITIO

En la actualidad es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio representan ser uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en edificaciones durante la ocurrencia de sismos de gran intensidad. Este factor es fuertemente dependiente de las condiciones geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas y geofísicas presentes

en cada zona y en conjunto, controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un sismo.

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de zonificación sísmica-geotécnica y sus resultados constituyen ser una de las herramientas más importantes orientadas a minimizar los daños producidos por sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas.

Las metodologías a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, consideran los estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación provee de información básica obtenida de observaciones de campo in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

En conclusión, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el “Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica” que debe constituirse como el documento más importante para las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

4.3 CONDICIONES MECÁNICAS-DINÁMICAS DEL SUELO NORMA E-030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar las indicaciones contenidas en el Reglamento Nacional de Construcción o Norma E-030 (2003). Básicamente, esta norma considera la clasificación de los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor de estrato, período fundamental de vibración y velocidad de propagación de las ondas de corte.

La Norma E-030, establece que los suelos pueden ser clasificados en cuatro tipos:

4.2.1 Suelos muy Rígidos (Tipo S1)

Corresponden a suelos en los cuales la velocidad de propagación de la onda de corte es similar al de una roca, además el período fundamental de vibración del suelo es de baja

amplitud sin exceder los 0.25 s. Se incluyen los casos en los cuales las cimentaciones se realiza sobre:

- ✓ Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).
- ✓ Grava arenosa densa.
- ✓ Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte, en condiciones no drenadas, superior a 100 kPa (1 kg/cm²), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.
- ✓ Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con $N > 30$, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.

4.2.2 Suelos Intermedios (Tipo S2)

Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos S1 y S3.

4.2.3 Suelos Flexibles ó con Estratos de Gran Espesor (Tipo S3)

Corresponden a suelos que presentan períodos fundamentales mayores a 0.6 segundos con vibraciones de baja amplitud.

4.2.4 Condiciones Excepcionales (Tipo S4)

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

En general, para cualquier estudio se deberá considerarse el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés y utilizar los correspondientes valores de periodos (T_p) y del factor de amplificación del suelo (S) definido en la Norma E-030 (2003), (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1: *Parámetros del Suelo según la Norma E-030 (2003)*

Tipo	Descripción	T_p (s)	S
S ₁	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S ₂	Suelos intermedios	0,6	1,2
S ₃	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S ₄	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

(Fuente: Ministerio de vivienda y construcción)

Esta clasificación de suelos fue implementada por el CISMID para su aplicación en el “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo de Sismo en 43 Distritos de Lima y Callao” por encargo de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). De acuerdo a este estudio y según las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación en el área de estudio, así como las consideraciones dadas en el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2003), se ha definido las siguientes zonas sísmicas-geotécnicas (Tabla 4.2):

ZONA I: *Esta zona está conformada por afloramientos rocosos, estratos de grava coluvial-aluvial en los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de la superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica, por efecto local del suelo, es de $S=1.0$ con un periodo natural de $T_s=0.4$ s, correspondiendo al suelo Tipo S1 de la norma sismorresistente.*

ZONA II: *En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de microtrepidaciones, varían entre 0.3 y 0.5 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de la superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica, por efecto local del suelo es de $S=1.2$ con periodo natural del suelo es $T_s=0.6$ s, correspondiendo al suelo Tipo S2 de la norma Sismorresistente.*

ZONA III: Esta zona está conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente, con un factor de amplificación sísmica de $S=1.4$ y periodo natural de $T_s=0.9$ s.

ZONA IV: Esta zona está conformada por depósitos de arenas eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos son mayores que 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente, asignándoles un factor de amplificación sísmica de $S=1.6$ y periodo natural de $T_s=1.2$ s (Según la Norma E03, es un caso especial).

ZONA V: Están constituidas por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos y desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado. Estos depósitos espesores entre 5 y 15 m. Esta zona considera también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y que en la actualidad, han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requieren un estudio específico.

Tabla 4.2: Zonas Sísmicas Geotécnicas (Norma E-030 -2003)

ZONAS	TIPO DE SUELO	PERIODO (seg)
 Zona I	S1 = Suelo rígido	0.1 - 0.3
 Zona II	S2 = Suelo semirígido	0.3 - 0.5
 Zona III	S3 = Suelo flexible	0.5 - 0.7
 Zona IV	S4 = Suelo excepcionalmente flexible	≥ 0.7

CAPÍTULO V

MÉTODOS SÍSMICOS EMPLEADOS

5.1 GENERALIDADES

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V) y arreglos lineales. Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, etc.) a efectos de lograr su caracterización física.

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de diferentes tipos de información utilizando instrumental sísmico para el registro de vibración ambiental o para realizar arreglos sísmicos lineales, todos orientados a conocer el comportamiento dinámico del suelo y sus propiedades físicas. Las técnicas de análisis utilizadas son:

5.2 TÉCNICA DE H/V

Considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtremores generadas por la actividad humana se deben principalmente a la excitación de ondas tipo Rayleigh en las capas superficiales. El registro de esta información y su interpretación, permite conocer el periodo natural del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de eventos sísmicos. Estos resultados son correlacionados y complementados con los obtenidos de los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos.

5.2.1 Descripción del Método

De las diferentes técnicas que usan Microtremores para Microzonificación Sísmica, la de Nakamura (1989) ha tenido bastante aceptación debido a su fácil implementación, tanto en el

trabajo de campo como en el procesamiento de los datos. La instrumentación consiste en un Sismómetro Triaxial con el cual se registran microtemblores en superficie. Su procesamiento y análisis consideran la determinación de los espectros de Fourier de las componentes Horizontal y Vertical y finalmente, realizar la relación espectral H/V, que según Nakamura da la función de transferencia aproximada del subsuelo.

La técnica de Nakamura se ha utilizado en varias ciudades (Euroseismod, 1998) cuyos suelos tienen características geotécnicas diferentes. Se ha comprobado en algunas ciudades que los resultados obtenidos por este método concuerdan con ensayos de laboratorio, o análisis de terremotos y modelación numérica.

5.2.2 Equipo Empleado

Para los registros de vibración ambiental se condicionaron 3 grupos de trabajo utilizando el siguiente instrumental por cada grupo (Figura 5.1):

- a. *Un equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CitySharp.*
- b. *Un sensor marca Lennartz de tres componentes de registro.*
- c. *Una brújula Brunton.*
- d. *Un GPS Garmin.*
- e. *Mapa de la zona y lista de puntos en coordenadas.*
- f. *Una ficha de registro con hoja de observaciones.*
- g. *Movilidad para desplazarse.*



Figura 5.1: Equipo utilizado para el registro de vibraciones ambientales.

Durante la toma de datos se observó dos escenarios para la data: por ejemplo, el registro para el punto CAR-031 corresponde a una zona libre de ruidos de fondo; mientras que, en el punto CAR-080 se ha registrado ruido de mayor amplitud, lo cual sugiere que el suelo es menos compacto y muy heterogéneo (Figura 5.2). Con la información disponible, se procede a construir las razones espectrales H/V (registros horizontales / registro vertical) a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas frecuencias están definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre. Debe entenderse que, de acuerdo a la variación de las propiedades físicas del suelo, cualquier medio al ser afectado por algún tipo de onda de cuerpo o superficial puede causar la amplificación o de-amplificación de las mismas debido al efecto de las capas estratigráficas superficiales de diferente espesor, geometría y composición litológica.

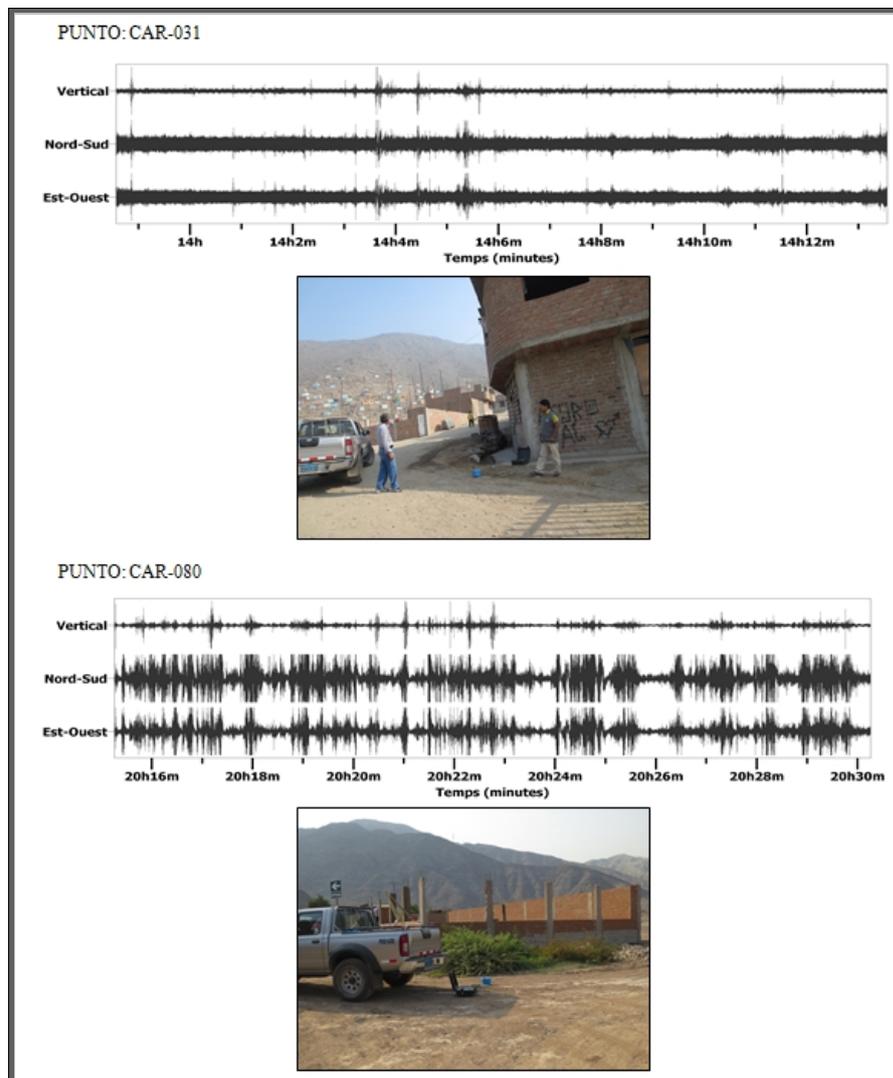


Figura 5.2: Imágenes del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales, ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona libre de ruido de fondo (CAR-031) y otro con ruido aleatorio (CAR-080). Obsérvese las diferentes amplitudes registradas en cada punto.

5.2.3 Procesamiento de Datos

Para aplicar la técnica H/V, se consideran los siguientes pasos:

- 1) *Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de, forma aleatoria, diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.*
- 2) *Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.*
- 3) *Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos, para cada punto de observación, considerando su respectiva desviación estándar. Luego se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, como condición, presentar una amplificación máxima relativa mayor a 2 veces.*

Para definir la frecuencia predominante se consideraron tres criterios (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994): primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 30 Hz; segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia) y por último, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida.

Para la aplicación de la técnica H/V, se procedió a disponer del mapa catastral del área urbana de Carapongo a fin de definir la distribución y el número de puntos para la toma de datos de vibración ambiental. La información geológica y geomorfológica fue importante para lograr una mejor distribución de los puntos de medición. En la Figura 5.3, se realizó la toma de datos en **166 puntos** de medición de vibración ambiental y para cada uno, se ha tomado un tiempo de registro de 15 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis.

El análisis de la información recolectada en los diferentes puntos de medida, permite obtener espectros de Fourier para sus tres componentes de registro y a partir de la razón de estos (componentes horizontales / componente vertical), determinar las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de la vibración natural del sub-suelo y en algunos casos, su amplificación sísmica relativa. Por ejemplo, en la Figura 5.4, se presenta el análisis realizado

para el punto **CAR-043**, obteniéndose como resultado la presencia de una frecuencia predominante de 1.9 Hz con amplificaciones relativas de hasta 4 veces con respecto al nivel de referencia. Asimismo, en la figura se presenta su espectrograma para evaluar la variación azimutal de la amplitud de la energía a diferentes rangos de frecuencias. Este tipo de información se obtiene de cada punto de medición y en conjunto, permiten analizar las propiedades físicas del suelo en el área urbana de Carapongo.

Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes. Además, para cada punto se ha elaborado una ficha de Zonificación Sísmica-Geotécnica (ver Figura 5.4) en la cual se visualiza la señal, la curva H/V, la variación azimutal de la amplitud y la interpretación de resultados.

En la Figura 5.3, se muestra el área de estudio y la distribución espacial de los 166 puntos en los cuales se ha obtenido registros de vibración ambiental a efectos de analizar la relación H/V o método de Nakamura.

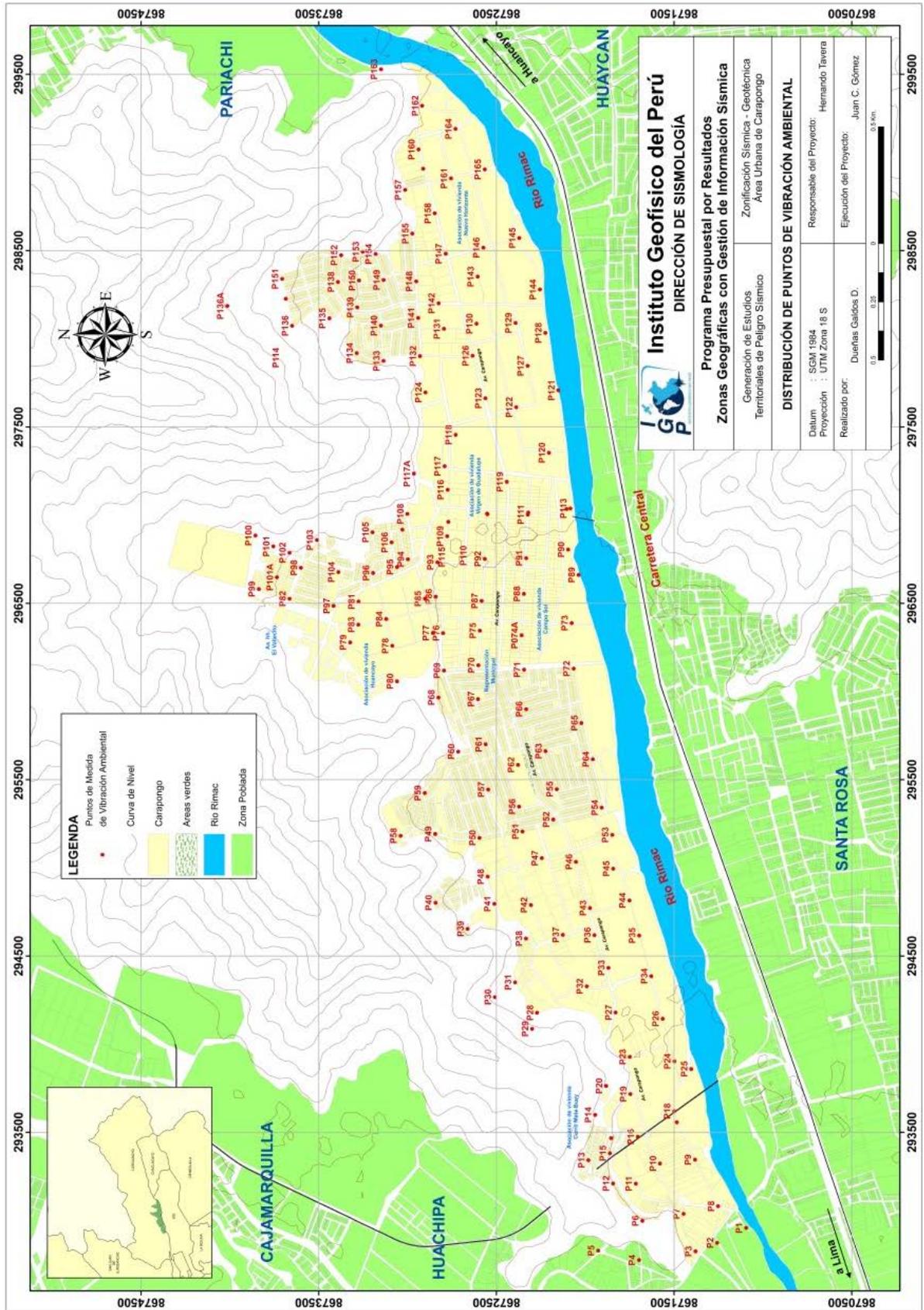
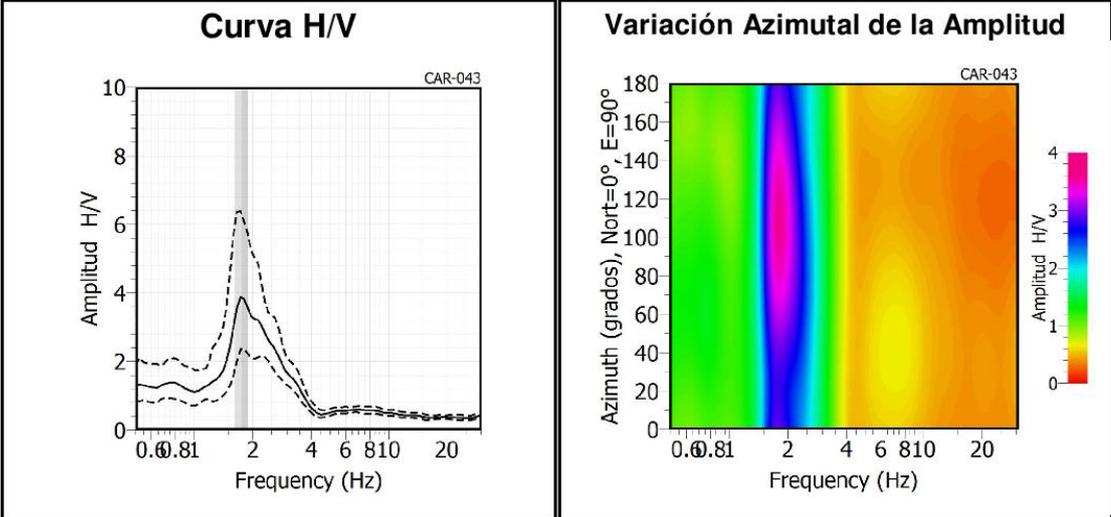


Figura 5.3: Mapa del área de estudio y distribución de 166 puntos de registro de vibración ambiental.

Zonificación Sísmica - Geotécnica
Área Urbana de Carapongo
Frecuencias propias del suelo

Punto CAR-043



Interpretación de Resultados			
<input type="checkbox"/> Dudoso	<input checked="" type="checkbox"/> Pico(s) H/V	f_0	f_1
<input type="checkbox"/> Ningún pico	(Hz)	1.75 ± 0.13	-----
Observaciones			
Var. azimutal	<input type="checkbox"/> Homogénea	Amplitud max. entre 60° y 160°	

Figura 5.4: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) en sus tres componentes. En la parte central se muestra la razón H/V con sus frecuencias predominantes y variación azimutal de la amplitud. Las líneas gruesas en los gráficos H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

5.2.4 Distribución de Frecuencias Dominantes

A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes considerando diferentes rangos: entre 0.5 y 2.0 Hz; y entre 2.0 y 23 Hz. Esta clasificación se hace en razón que varios puntos de medición presentan entre uno y dos picos de frecuencias predominantes, además de amplificaciones de hasta 3 veces, los cuales sugieren que el suelo es bastante complejo y se requiere de análisis más detallados.

El análisis de la información debe considerar los siguientes aspectos:

- 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos).
- 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos.
- 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006). A continuación, se analiza las características de los diferentes rangos de frecuencias identificados para la zona.

Rango de frecuencias entre 0.5 – 2.0Hz: En la Figura 5.5, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes para el rango de 0.5 –2.0 Hz, observándose que dichos valores se distribuyen sobre toda el área de estudio, sobresaliendo frecuencias entre 1.0 a 2.0 Hz. En esta misma figura, los puntos que no presentan valores, indica que no se identificó frecuencias predominantes para este rango de interés, estando todos ubicados en el extremo norte del área de estudio (cerca de los cerros). En la Figura 5.6 y 5.7, se presenta como ejemplo la razón espectral obtenida para los puntos CAR-017, CAR-041, CAR-054, CAR-095, CAR-130, CAR-162, observándose en todos que la función H/V presenta entre uno y dos picos de frecuencias predominantes, los mismos que son analizados a continuación.

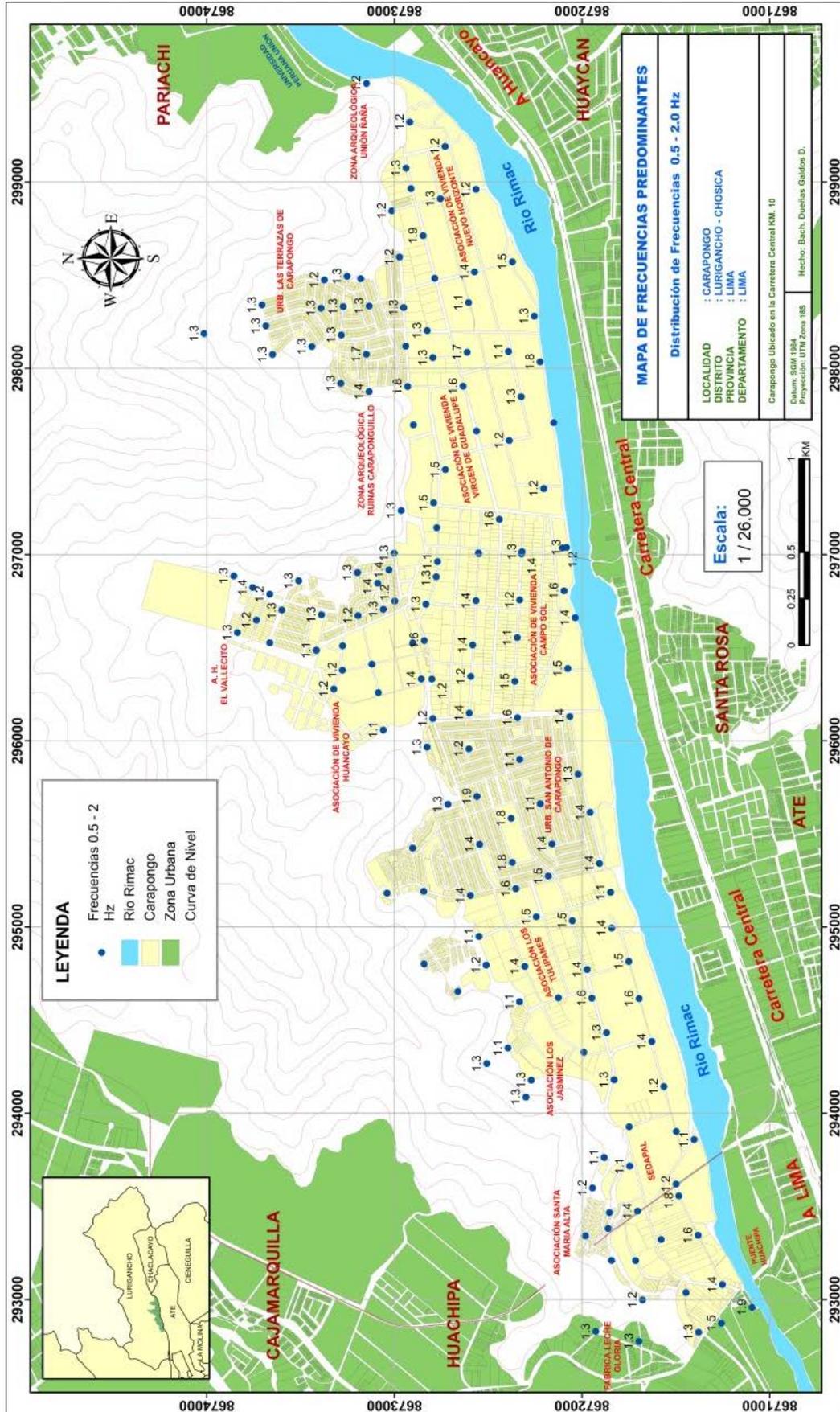


Figura 5.5: Mapa del área de estudio y distribución espacial de frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 2.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango.

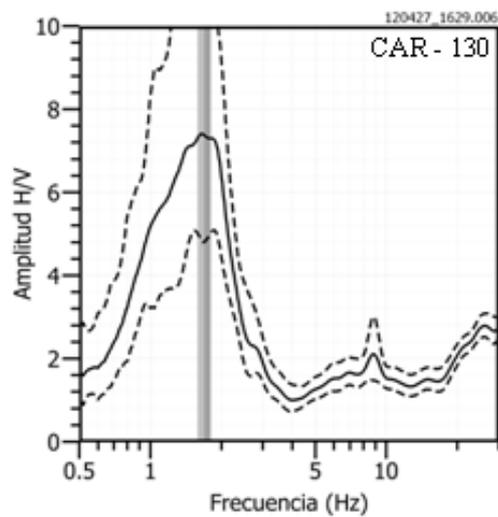
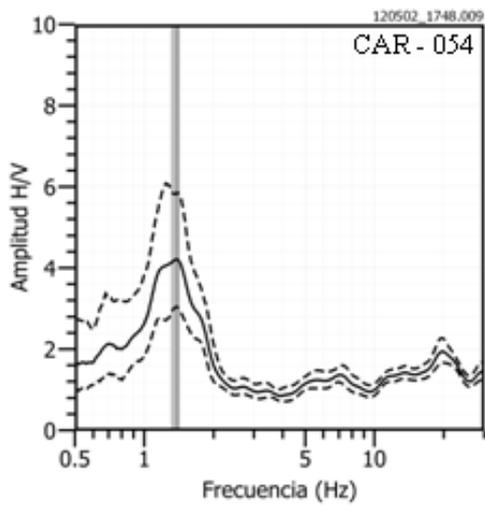
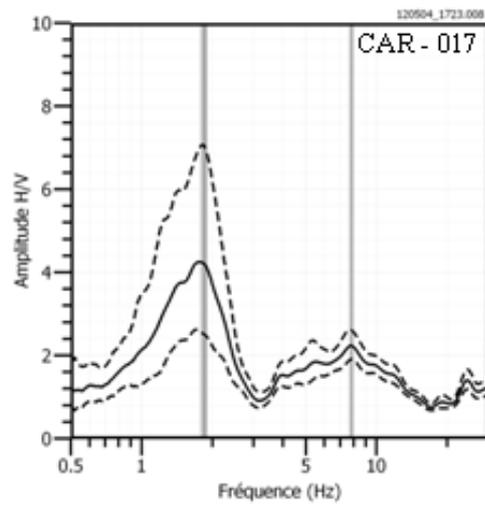


Figura 5.6: Ejemplos de razones espectrales (H/V) con frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 2.0Hz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

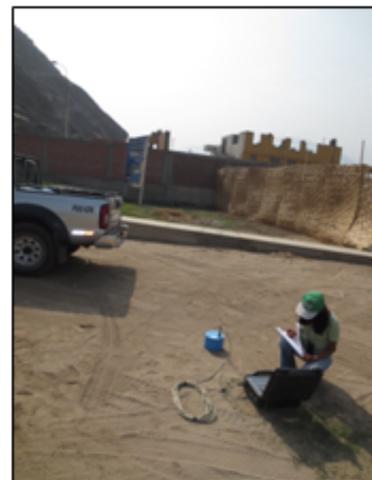
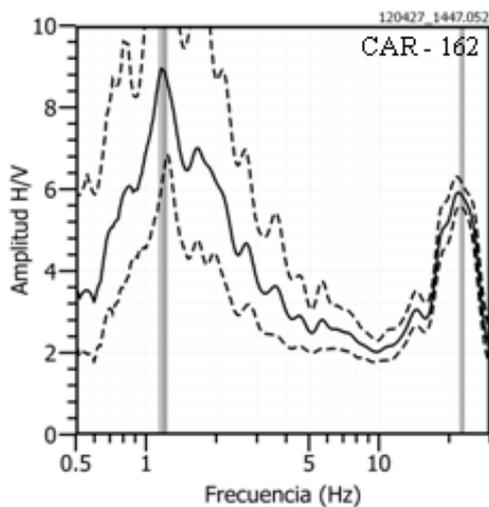
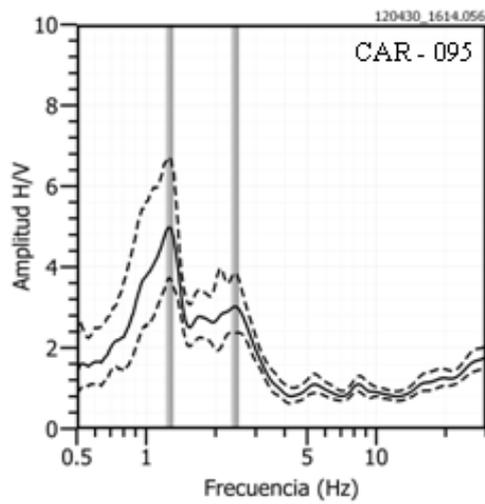
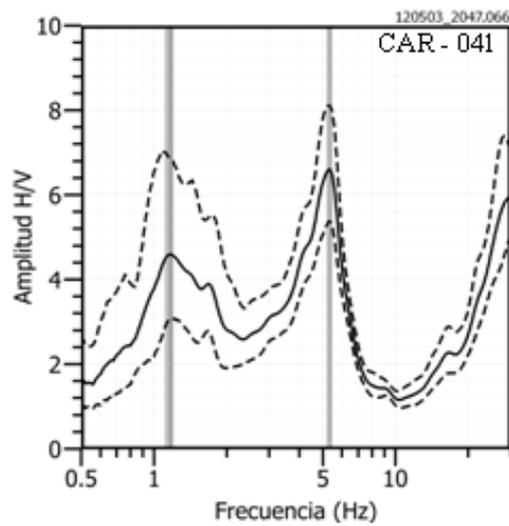


Figura 5.7: ...Continuación. Ejemplos de Razones espectrales (H/V) donde la frecuencia predominante sobresale en el rango de 0.5 - 2.0Hz. Las líneas continuas, representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias bajas.

En la Figura 5.8, se presenta la distribución espacial de 6 razones espectrales representativas para este rango de frecuencias a fin de buscar evidenciar su relación con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. Los espectros correspondientes a puntos ubicados en las proximidades del río Rímac definen la existencia de un solo pico de frecuencias que fluctúan entre 1.0 y 2.0 Hz con amplificaciones relativas de hasta 8 veces (CAR-017, CAR-054 y CAR-130); mientras que, en los puntos ubicados próximos a los cerros sobresalen dos picos, uno entre 1.0 a 2.0 Hz y otro entre, 2.0 y 23.0 Hz con variedad de amplificaciones (CAR-041 y CAR-162). En algunos casos, estas frecuencias se encuentran muy próximas, pero pueden ser fácilmente identificadas, tal como se observa en CAR-095.

De acuerdo a la complejidad de las formas de las funciones H/V obtenidas para este rango de frecuencias, es importante realizar un mayor análisis a fin de evaluar la influencia de la cuenca del río Rímac, caso contrario, se tendría que considerar que la respuesta del suelo sugiere, que ante la ocurrencia de un sismo, podrían ser afectadas las viviendas con más de 5 pisos por presentarse efectos de resonancia.

Rango de frecuencias de 2.0 a 23 Hz: En la Figura 5.9, se presenta el mapa de distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes comprendidas entre 2 y 23 Hz, y en la Figura 5.10, 5.11, 5.12; algunos ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-149, CAR-140, CAR-139, CAR-044, CAR-035, CAR-034, CAR-082, CAR-097 y CAR-079. De acuerdo a la distribución de estos valores, se puede diferenciar la presencia de tres sub-áreas (**A1-Rosado**, **A2-Verde** y **A3-Gris**) en donde las frecuencias presentan valores similares, siendo sus principales características las siguientes (ver Figura 5.9):

Área 1: Considera los puntos donde las frecuencias predominantes tienden a valores bajos, próximos a 2.0 Hz, concentrándose principalmente en el extremo SE del área de estudio próximo al Río Rímac. Según la Figura 5.9, el mayor número de puntos no presentan valor debido a que las frecuencias se encuentran entre 1.5 a 2.3 HZ, pero son considerados dentro de esta Área por comprender suelos in-consolidado, de baja capacidad portante y alto nivel freático.

Área 2: Predominan frecuencias que varían entre 2.3 y 4.0 Hz, las mismas que se encuentran rodeando al Área 1, pero conforme se tiende hacia los cerros, los valores se incrementan, principalmente hacia el AA.HH. El Vallecito y la Urb. Las Terrazas de Carapongo.

Área 3: Predominan frecuencias que varían entre 4.0 a 23.0 Hz, valores que se incrementan conforme se tiende hacia los cerros. Los puntos que presentan menores amplificaciones delimitan áreas sombreadas por líneas inclinadas, las cuales están principalmente en el extremo norte de la Urb. Las Terrazas de Carapongo.

En la Figura 5.13, se presenta la distribución espacial de 8 razones espectrales dentro del rango de 2.0 a 23.0 Hz a fin de evidenciar visualmente la posible relación de sus curvas con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. En general, no existe tendencia clara en cuanto a la forma de las curvas H/V, pero si, cuando se analiza las amplificaciones máximas relativas, siendo mayores para los puntos ubicados en el extremo este del área de estudio, con respecto a lo observado en su extremo oeste que presentan menores amplificaciones.

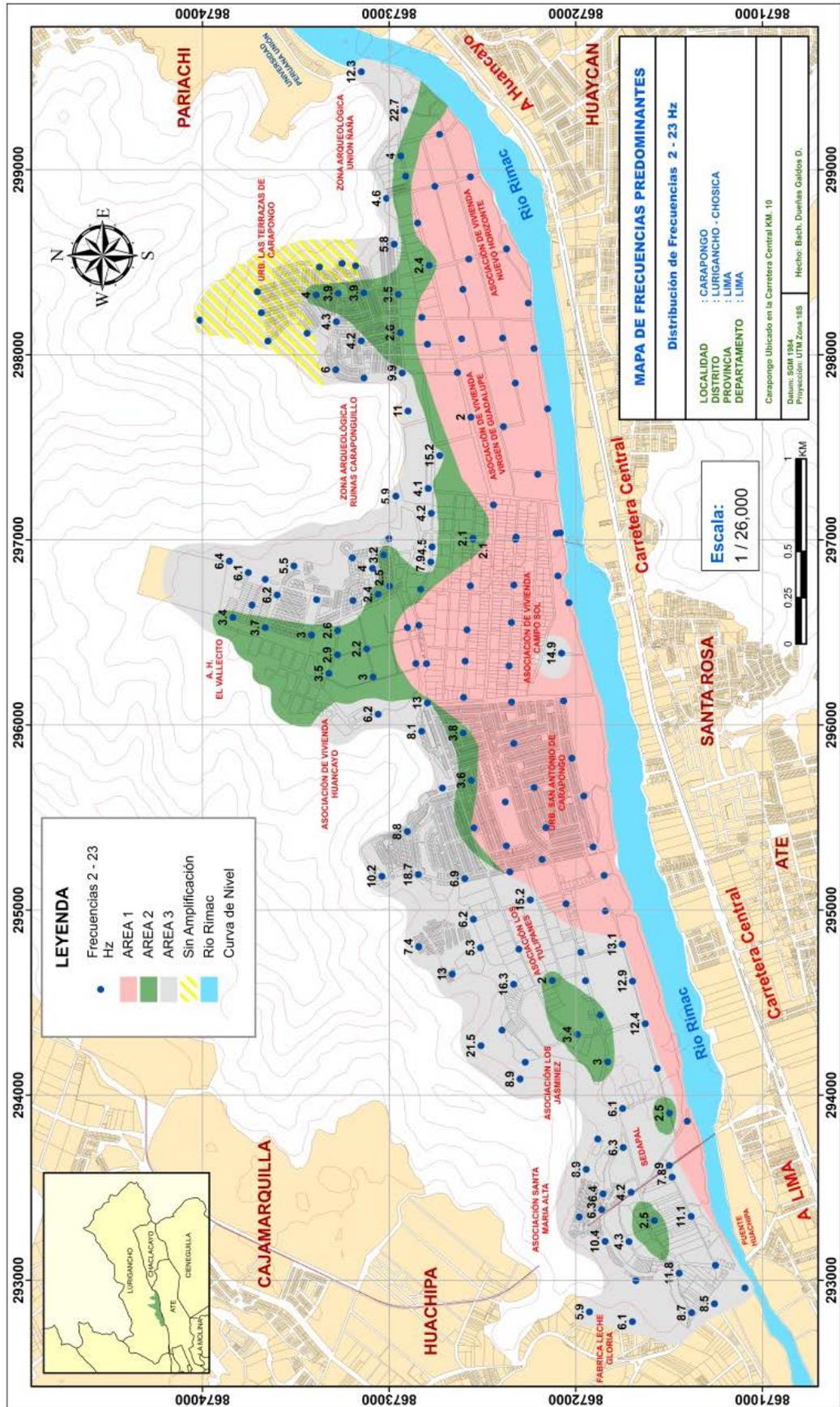


Figura 5.9: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de 2.0 - 23.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango. Para las Áreas, ver texto.

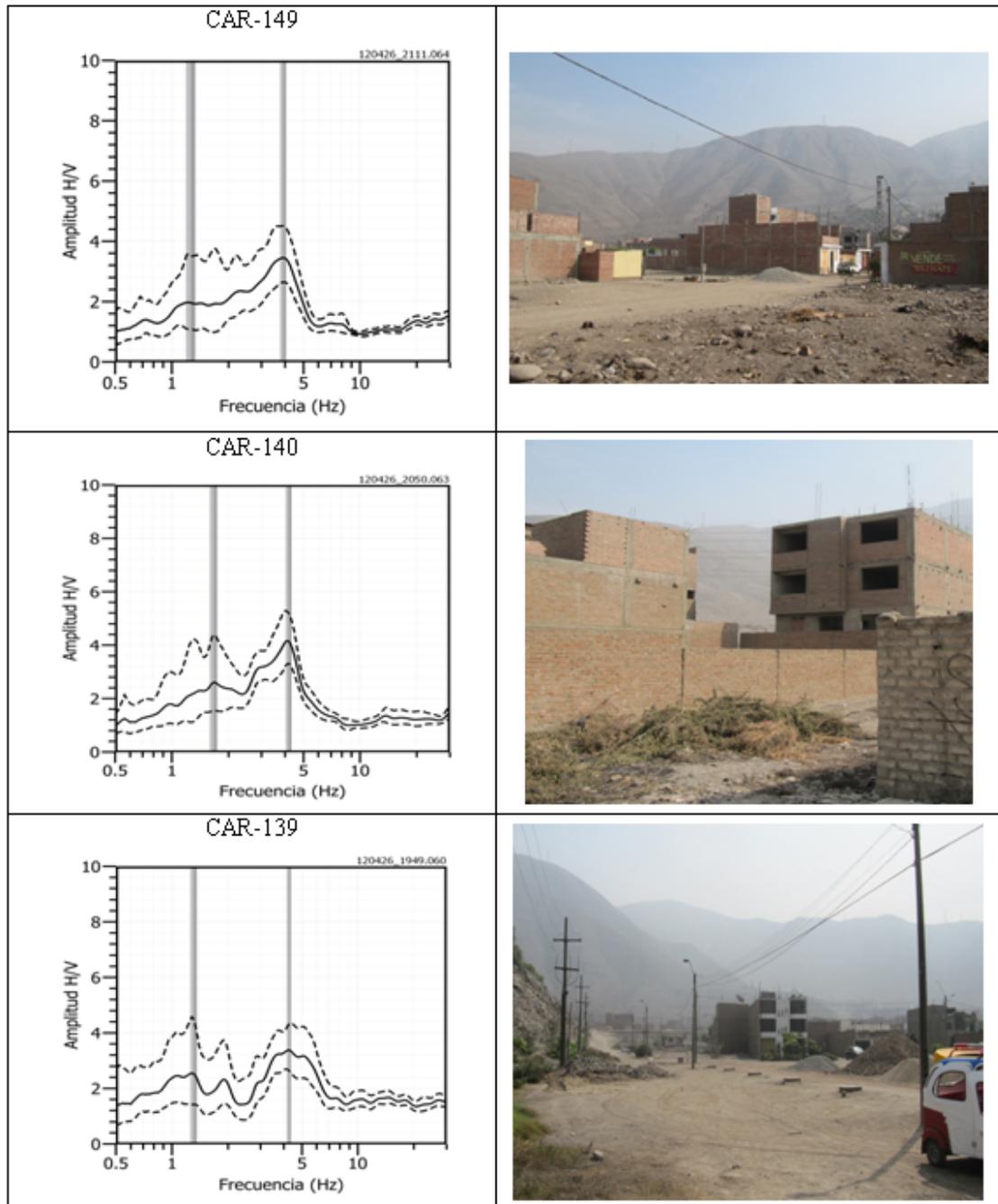


Figura 5.10: Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-149, CAR-140 y CAR-139 ubicados en el extremo norte del área de estudio.

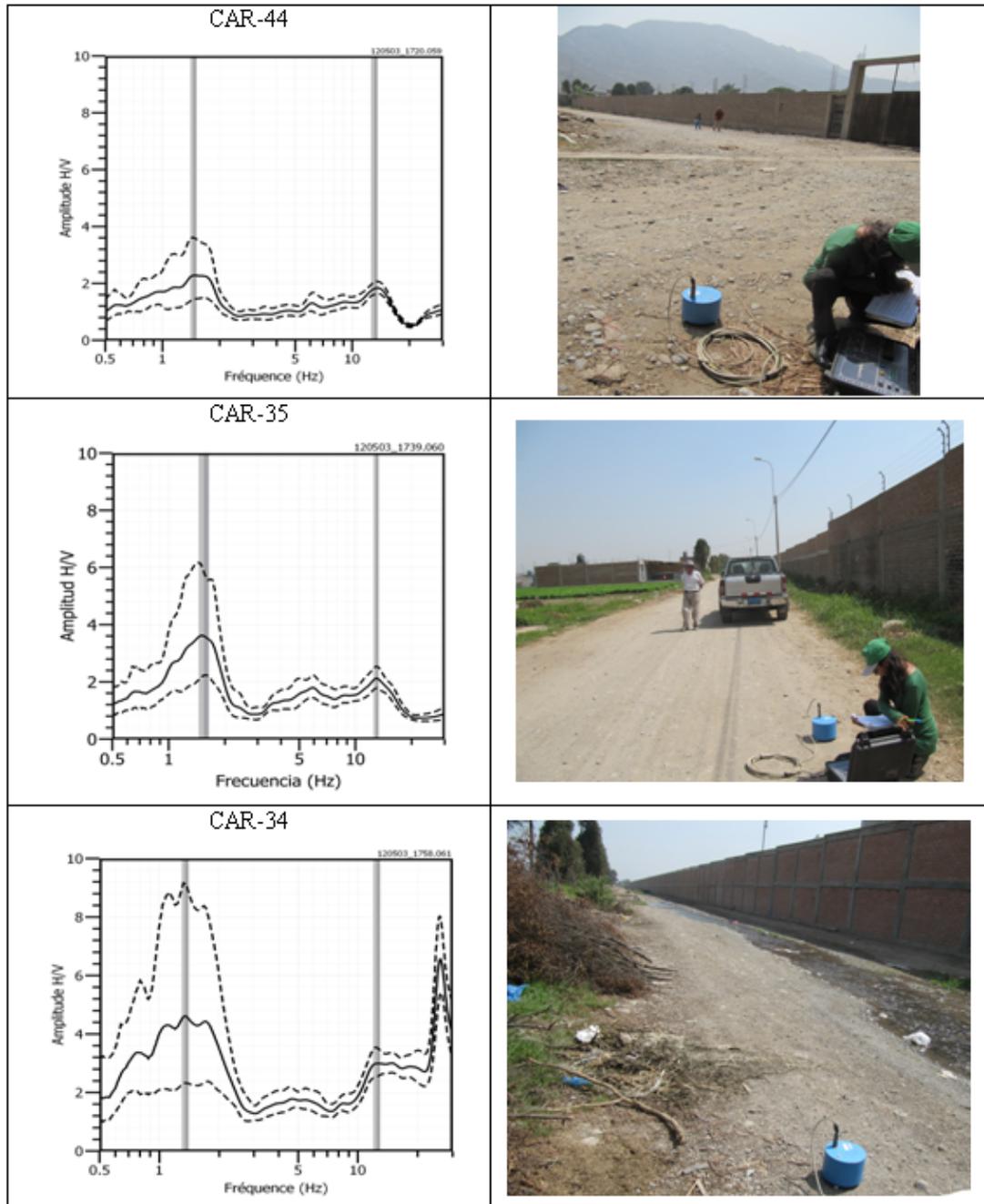


Figura 5.11: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-44, CAR-35 y CAR-34 ubicados en el extremo sur-oeste del área de estudio.

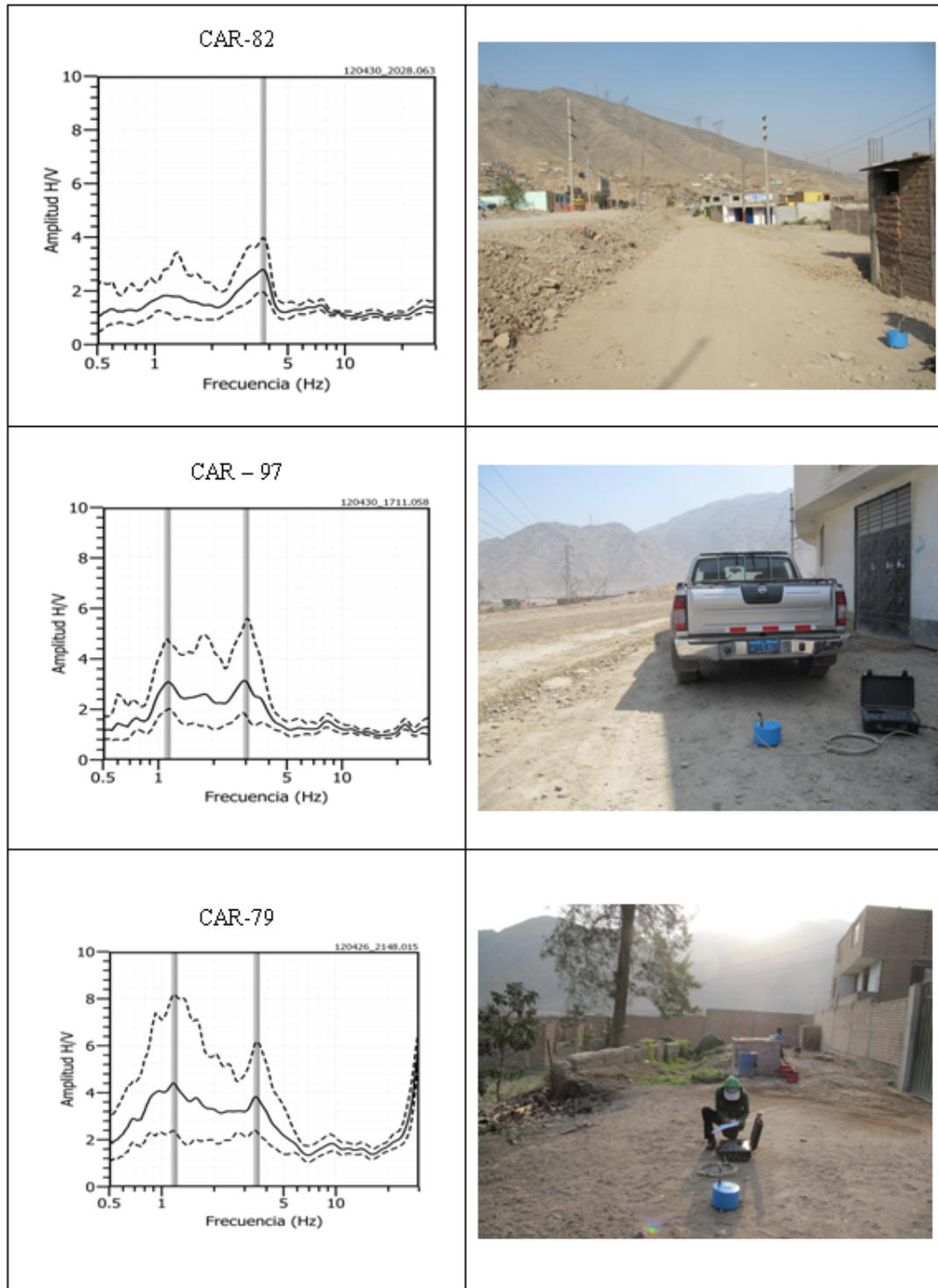


Figura 5.12: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-82, CAR-97 y CAR-79 ubicados sobre el AAHH El Vallecito.

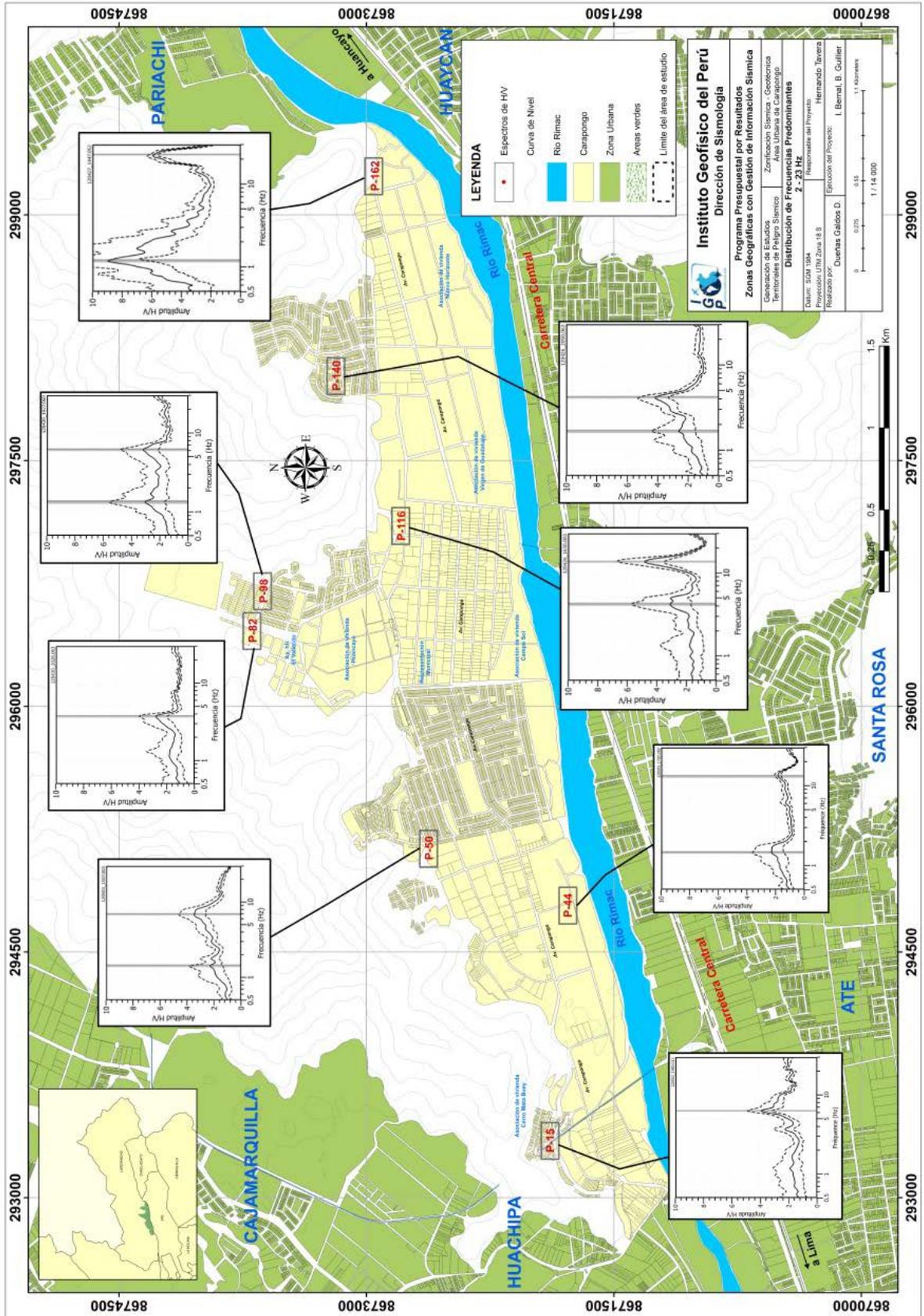


Figura 5.13: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 2 y 23 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

Se debe entender que las frecuencias mayores a 10 Hz evidencian el espesor de la capa más superficial del área de estudio, pudiendo observarse variaciones en dimensión y espesor a cortas distancias; por lo tanto, se ha visto por conveniente no considerarla en una posible zonificación. Estas capas superficiales, para el caso del área urbana de Carapongo, se encuentran mayormente en zonas próximas al río Rímac y sobre posibles zonas de relleno antrópico.

5.3 TÉCNICA DE ARREGLOS LINEALES (MASW)

Se hace uso de tendidos lineales de 24 sensores sísmicos a fin de registrar ondas de volumen y superficiales generadas por fuentes artificiales. Con este procedimiento se pretende conocer la velocidad de las ondas de corte (ondas S) utilizando el método MASW; es decir, conocer los cambios de velocidades a lo largo de los diversos estratos existentes en el subsuelo.

La aplicación de esta técnica permite determinar las características físicas del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades físicas de los materiales que la conforman, permitiendo de este modo, definir el perfil de velocidades de las ondas de corte (V_s) que caracteriza a dicha línea. La interpretación de la información recolectada proporciona una curva de dispersión (velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia) para las ondas superficiales, ya que estas conservan hasta el 90% del valor de la velocidad de las ondas de corte (V_s). Luego mediante un procedimiento de cálculo iterativo inverso se obtiene el perfil de velocidad de las ondas de corte (V_s) para el punto medio de cada línea de estudio. La aplicación de un nuevo cálculo iterativo inverso, permite conocer el periodo predominante teórico correspondiente al perfil de velocidades, el cual es correlacionado con el obtenido con la técnica H/V a fin de validar ambos resultados.

5.3.1 Equipo Empleado

El equipo empleado para desarrollar el método de refracción “MASW” se describe a continuación (ver Figura 5.14):

- a. *Sismógrafo Geode de 24-bits SEG-2*
- b. *24 Geófonos con frecuencia de 4.5 Hz*
- c. *Cable de tendido para conexión de geófonos.*
- d. *Martillo de 20 Libras, adaptado con un Switch disparador de martillo.*
- e. *Cables de extensión del disparador del martillo*

- f. Gps Garmin
- g. Cintas métricas de 50 metros.

Se procedió a tomar los datos extendiendo los geófonos con una distancia de 3 m. de separación equidistante entre ellos. Los datos corresponden al inicio al medio y al extremo de cada línea sísmica (ver Figura 5.15).



Figura 5.14: Equipos usados para la aplicación del método de refracción sísmica (MASW).



Figura 5.16: Imagen de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de datos.

5.3.2 Procesamiento de Datos

El procesamiento MASW involucra tres pasos: Análisis Curva de dispersión, inversión de la curva de dispersión y Modelado de la Velocidad de la Onda de Cizalla (Louie, 2001), (Figura 3.16).

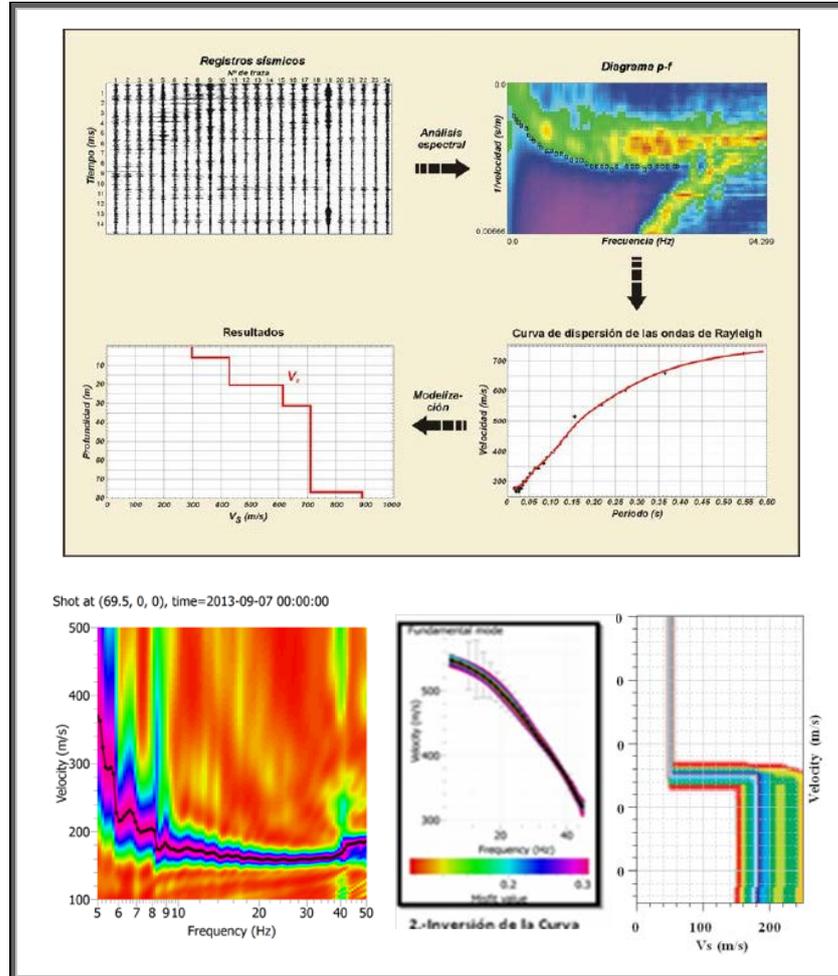


Figura 5.16: Imagen del procesamiento de datos para las líneas sísmicas (Masw).

5.3.3 Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Lineales (MASW)

La Técnica MASW (Multichannel Análisis of Surface Waves) permite conocer la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales registradas por arreglos lineales de estaciones sísmicas. Como resultado de la inversión de la curva de dispersión se obtiene el perfil de velocidades para las ondas de corte (V_s) en el punto central de cada arreglo.

Para el registro de la data se ha utilizado un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24 canales), geófonos de 4.5 Hz y registros a

una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos (entre 3 y 6 metros) y el punto de impacto del martillo, fue variable ya que dependía de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos. Para eliminar el registro de ruido de fondo se realizaron entre 6 y 12 golpes en cada punto de disparo, permitiendo el estaqueo temporal de los datos y así, aumentar la coherencia en los resultados. La calidad del registro fue verificada en campo y analizada con el software Geopsy 2.8. En la Figura 5.17, se presenta el mapa del área urbana de Carapongo con la ubicación espacial de las 5 líneas de refracción sísmica codificadas como:

- ❖ Líneas LR01-CAR y LR02-CAR: En el extremo Norte, AAHH El Vallecito.
- ❖ Línea LR03-CAR: En el extremo Nor-oeste de la Plaza Central de Carapongo.
- ❖ Línea LR04-CAR: Entre la Asoc. de Vivienda Campo Sol y río Rímac.
- ❖ Línea LR05-CAR: En el extremo Este del área y Asoc. Vivienda Nuevo Horizonte.

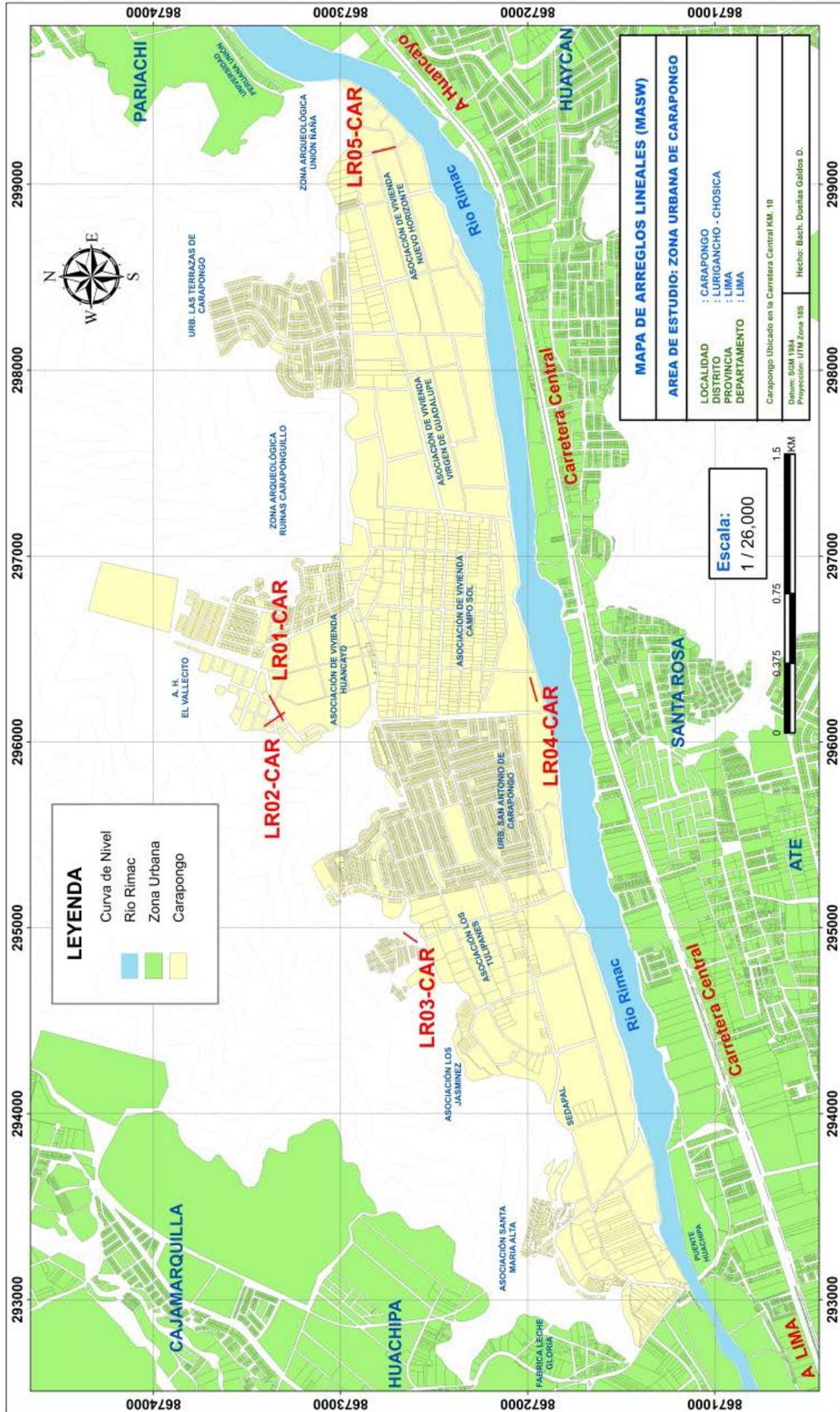


Figura 5.17: Distribución de las líneas de refracción sísmica en Carapongo (LR01-CAR ...LR05-CAR).

En la Figura 5.18 y 5.19, se presenta imágenes de la toma de datos en campo y en la Figura 5.20, ejemplos de los registros obtenidos con esta Técnica.

LR01-CAR



LR02-CAR



1
LR03-CAR



Figura 5.18: Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de la data, también se puede apreciar un pozo cerca de la línea sísmica LR03-CAR de 3 a 4 metros con presencia de agua.

LR04-CAR



LR05-CAR



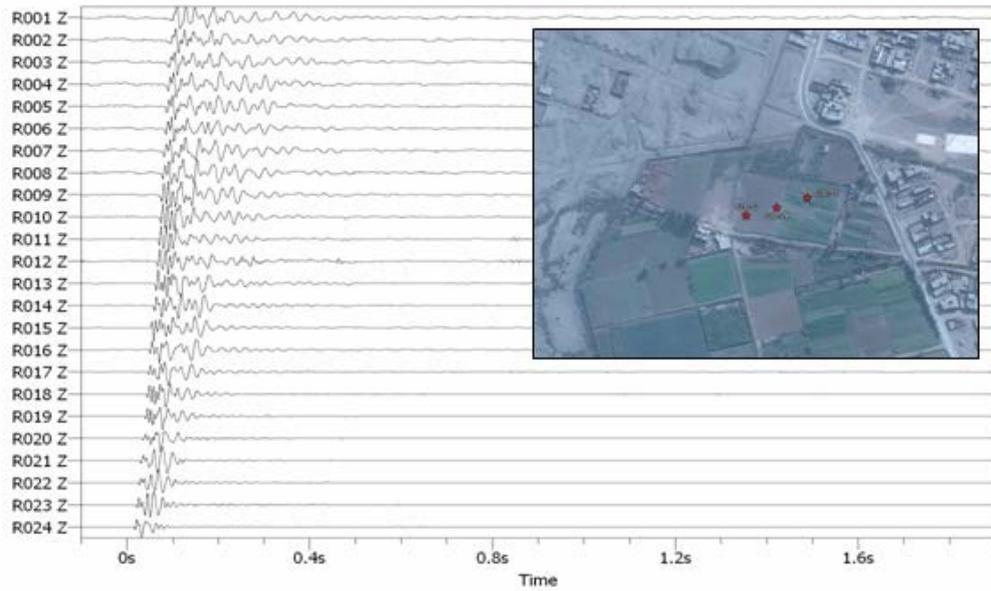
Figura 5.19: ///Continuación... Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de la data.

Las curvas de dispersión de ondas obtenidas para cada tendido y número de impactos, fueron promediadas y luego invertidas usando el algoritmo DINVER a fin de obtener perfiles de velocidad para puntos específicos de toma de datos. Para el análisis de los resultados se considera la clasificación que la Norma E030 establece para cada tipo de suelo en base a los siguientes rangos de velocidades para las ondas de corte (V_s):

- a. Rocas duras, velocidades $V_s > 1,500$ m/s*
- b. Rocas moderadamente duras, velocidades V_s de 760 a 1500 m/s*

- c. Suelo muy duro o roca blanda, velocidades V_s de 360 a 760 m/s
- d. Suelo duro, velocidades V_s de 180 a 360 m/s
- e. Suelo blando, velocidades $V_s < 180$ m/s

LR01-CAR



LR02-CAR

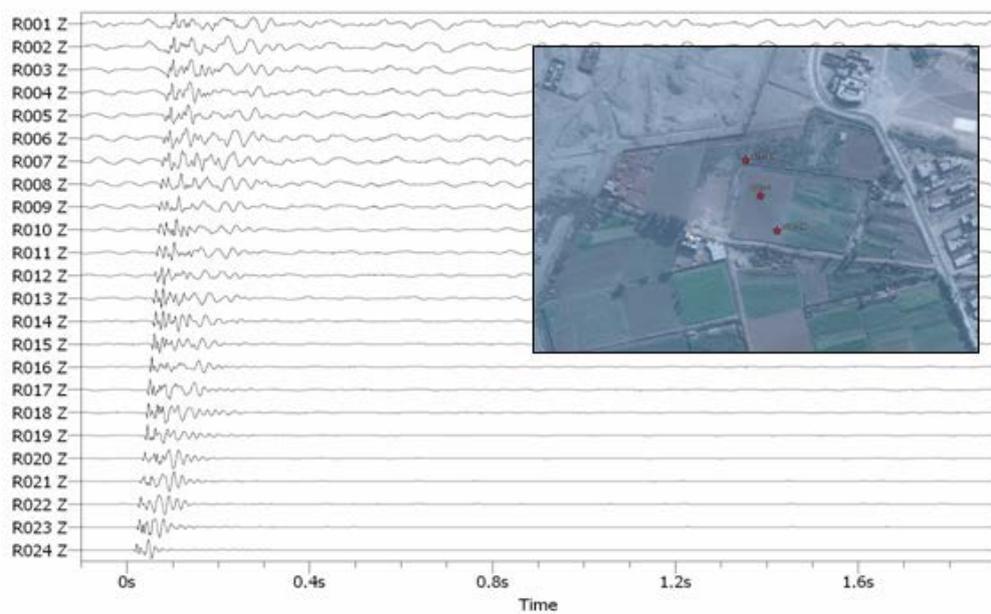


Figura 5.20: Ejemplos de registros obtenidos en los 24 canales para los puntos LR01-CAR y LR02-CAR.

Para el análisis de la información obtenida con el método MASW, la inversión de las curvas de dispersión permiten obtener los perfiles de velocidad de las ondas de corte (V_s) y espesores de las diferentes capas sobre el estrato rocoso. Conocida esta información, se procede a obtener una función de transferencia teórica para ser correlacionada con la empírica obtenida con la técnica H/V. Si existe correspondencia entre ambas funciones de transferencia, indica que los resultados que se obtienen son óptimos; es decir, las velocidades de ondas de corte (V_s) y espesores de las capas superficiales obtenidos son correctos.

5.3.3.1 Arreglos Lineales LR01-CAR y LR02-CAR

El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo norte del área de estudio, sobre el AAHH El Vallecito, primero con una orientación NE-SO y luego NO-SE, considerado el extremo sur del tendido como punto común. Según la Figura 5.21 y 5.22, para estos puntos se ha identificado la presencia de dos capas, la primera con espesores de 3 metros y velocidad es V_s de 220 a 290 m/s que corresponden a suelos duros, y la segunda con espesores de 8 a 12 metros y velocidades V_s de 400 m/s correspondiente a suelos muy duros y/o rocas moderadamente duras. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades de hasta 600 m/s correspondiendo a suelos compuestos por rocas moderadamente duras.

5.3.3.2 Arreglo Lineal LR03-CAR

El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo norte del área, próximo a la plaza principal de Carapongo. De acuerdo a la Figura 5.23, el perfil de velocidad permite identificar la presencia de dos capas, la primera con espesor de 1 m y velocidades V_s de 180 m/s correspondiente a suelos blandos. La segunda capa presente un espesor de 10 m y velocidad des V_s de 280 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 800 m/s y corresponde a suelos muy duros.

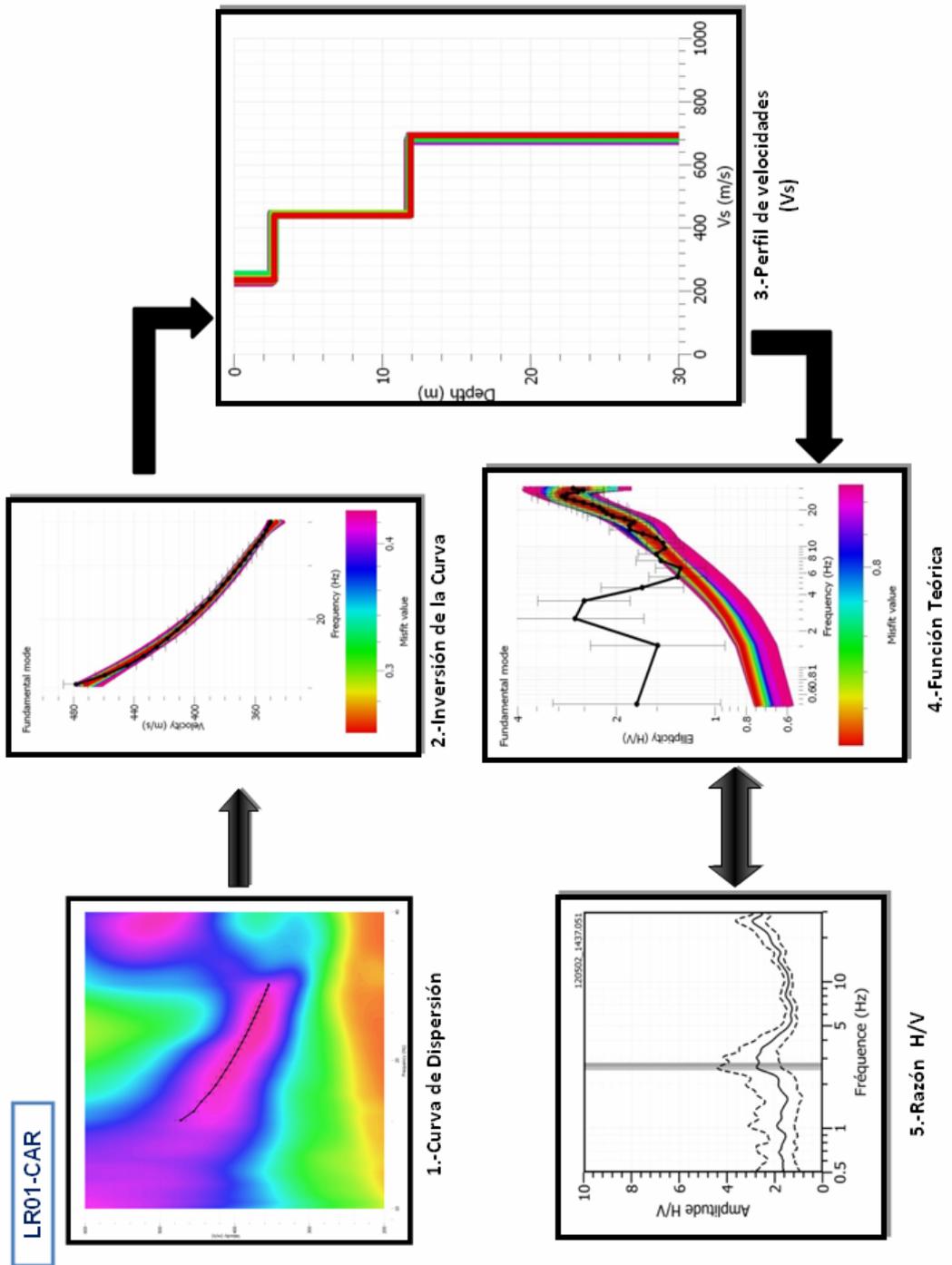


Figura 5.21: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR01-CAR (ver Figura 5.18).

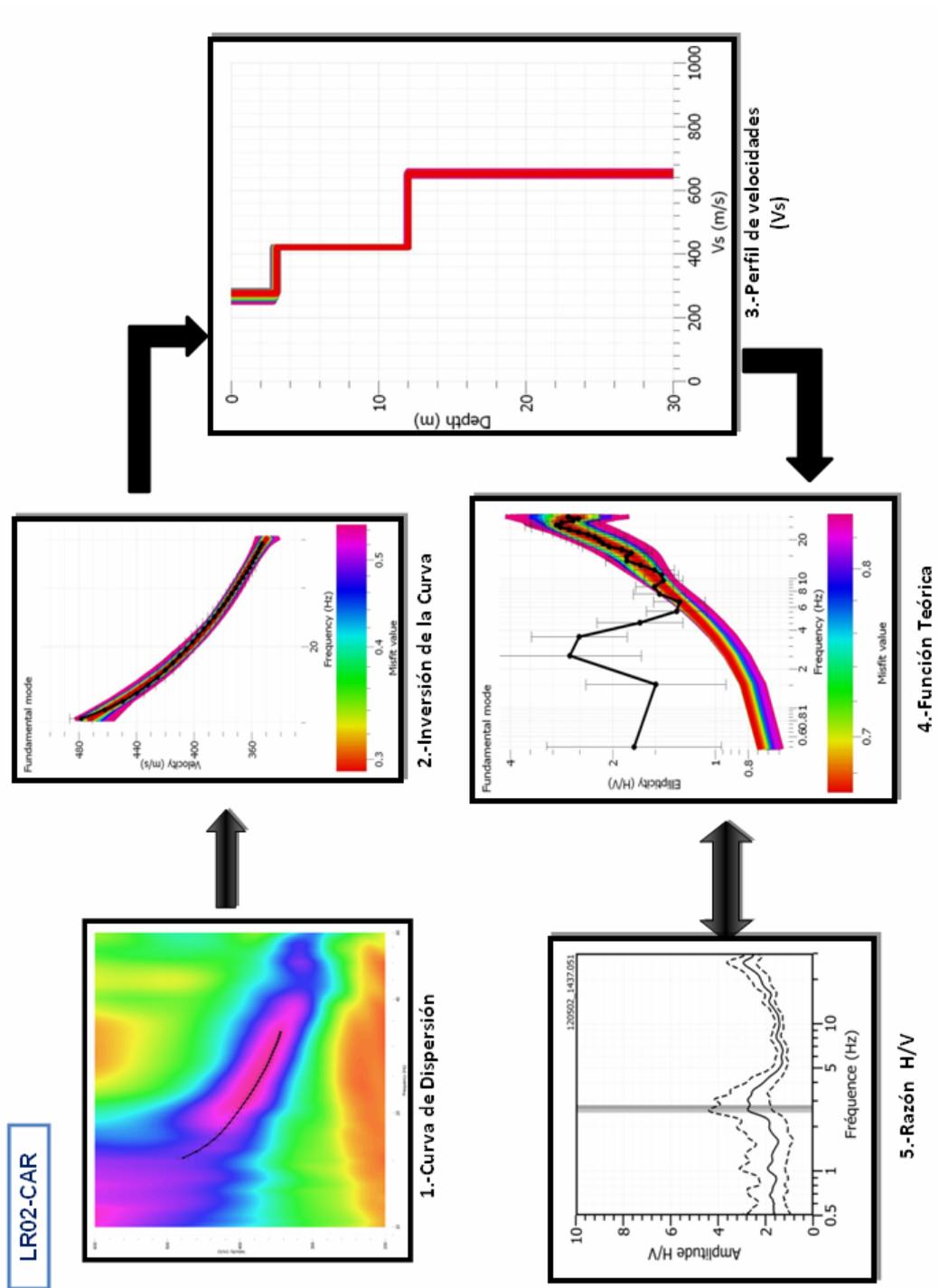


Figura 5.22: /// Continuación....Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR02-CAR (ver Figura 5.18).

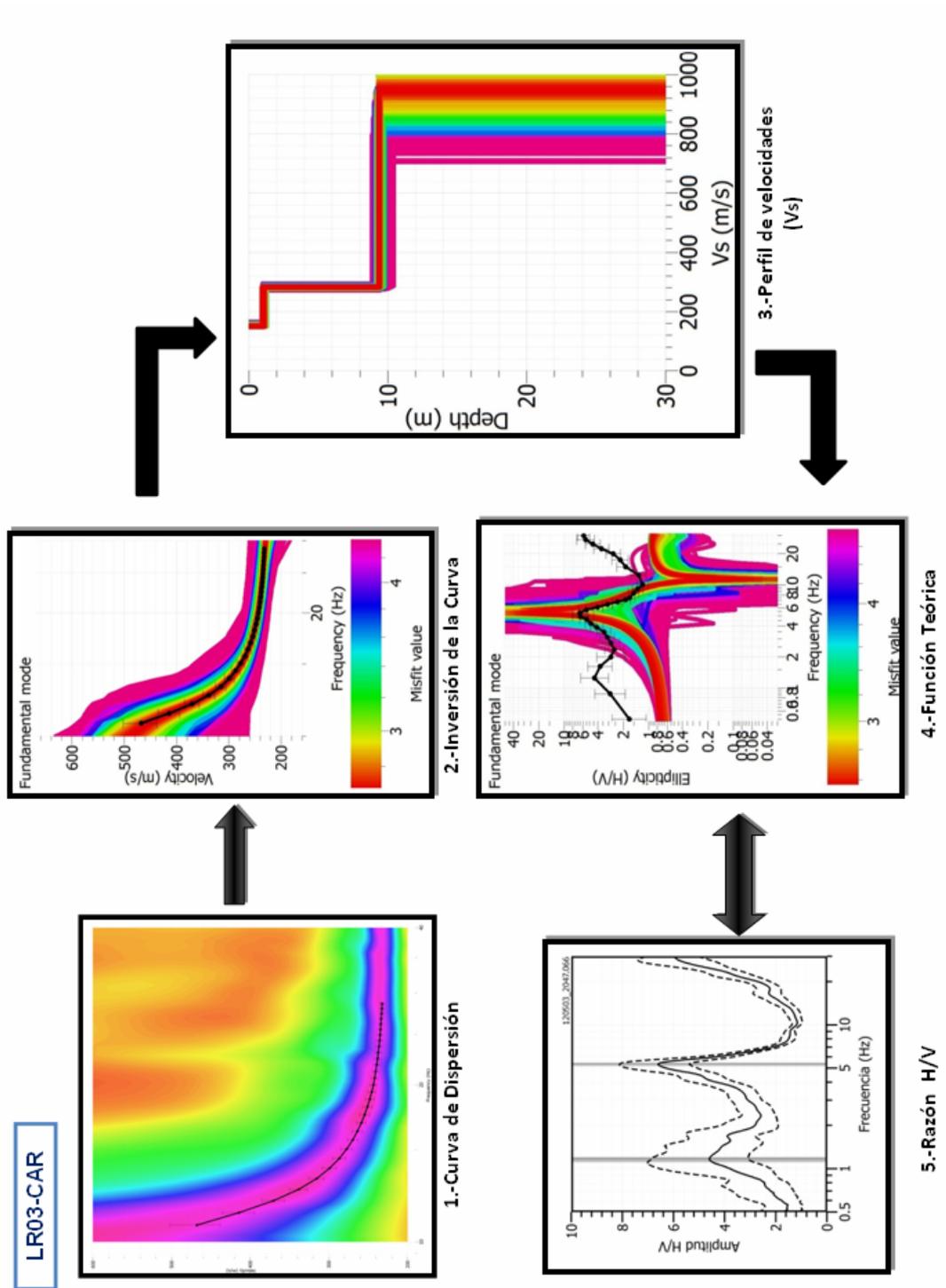


Figura 5.23: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03-CAR (ver Figura 5.18).

5.3.3.3 Arreglo Lineal LR04-CAR

Este arreglo se realizó entre la Asociación de Vivienda Campo Sol y el río Rímac (Figura 5.24). En el perfil se ha identificado la presencia de dos capas, la primera con espesor de 2 m y velocidades V_s del orden de 170 m/s correspondiente a suelos blandos, y la segunda capa con espesor de 9 m y velocidades de 490 m/s correspondiente a suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa que alcanza velocidades V_s de hasta 600 m/s, la misma que corresponde a suelos muy duros.

5.3.3.4 Arreglo Lineal LR05-CAR

Este arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo este del área de estudio, Asociación de la Vivienda Nuevo Horizonte. Según la Figura 5.25, en el perfil de velocidad se ha diferenciado la presencia de dos capas: la primera superficial con espesor de 3 m y velocidades V_s de 200 m/s correspondiente a suelos blandos a duros. La segunda capa presenta espesor de 12 m con velocidades V_s de 500 m/s correspondiente a suelos muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 900 m/s correspondiente a rocas moderadamente duras.

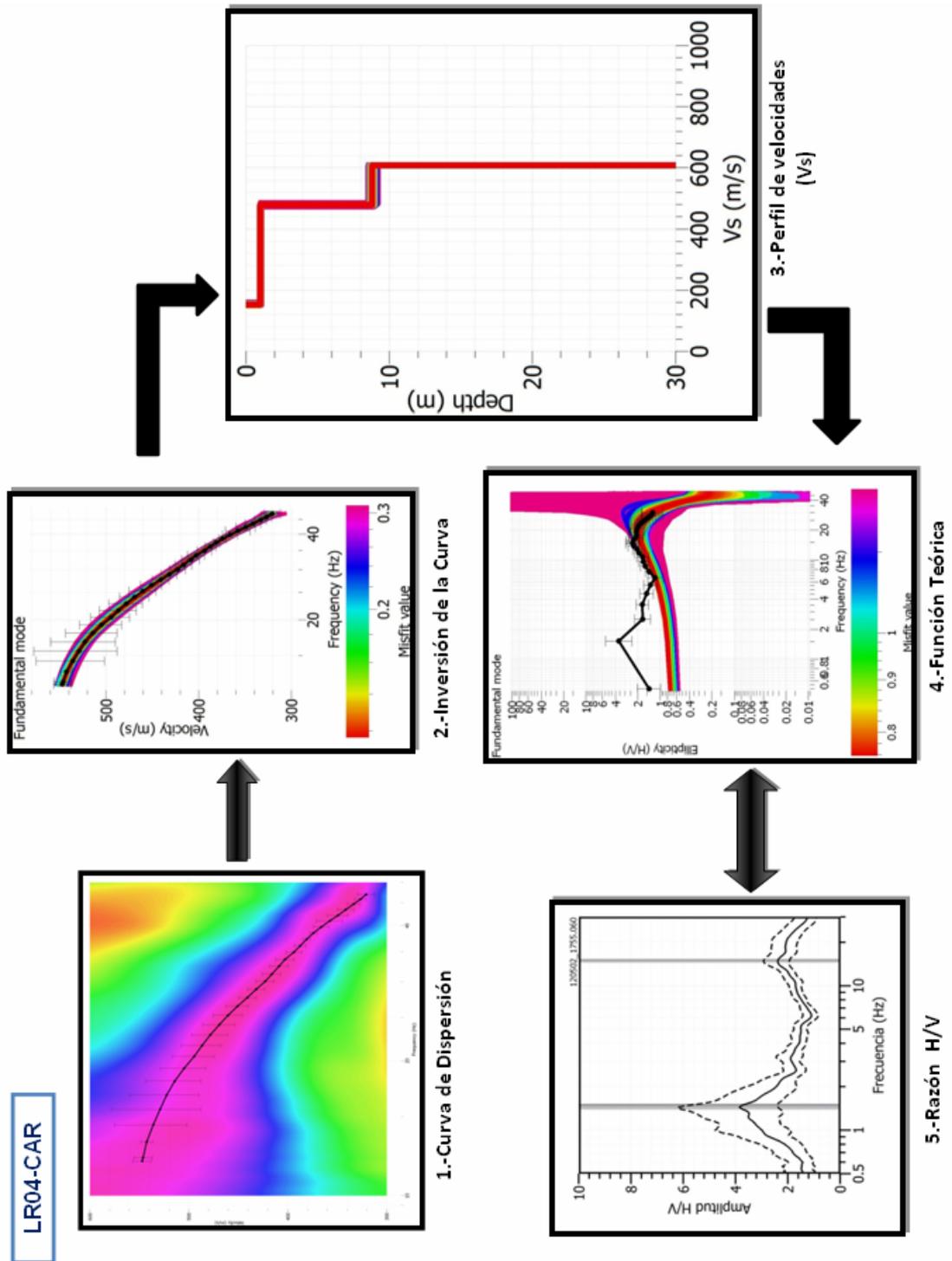


Figura 5.24: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04-CAR (ver Figura 5.19).

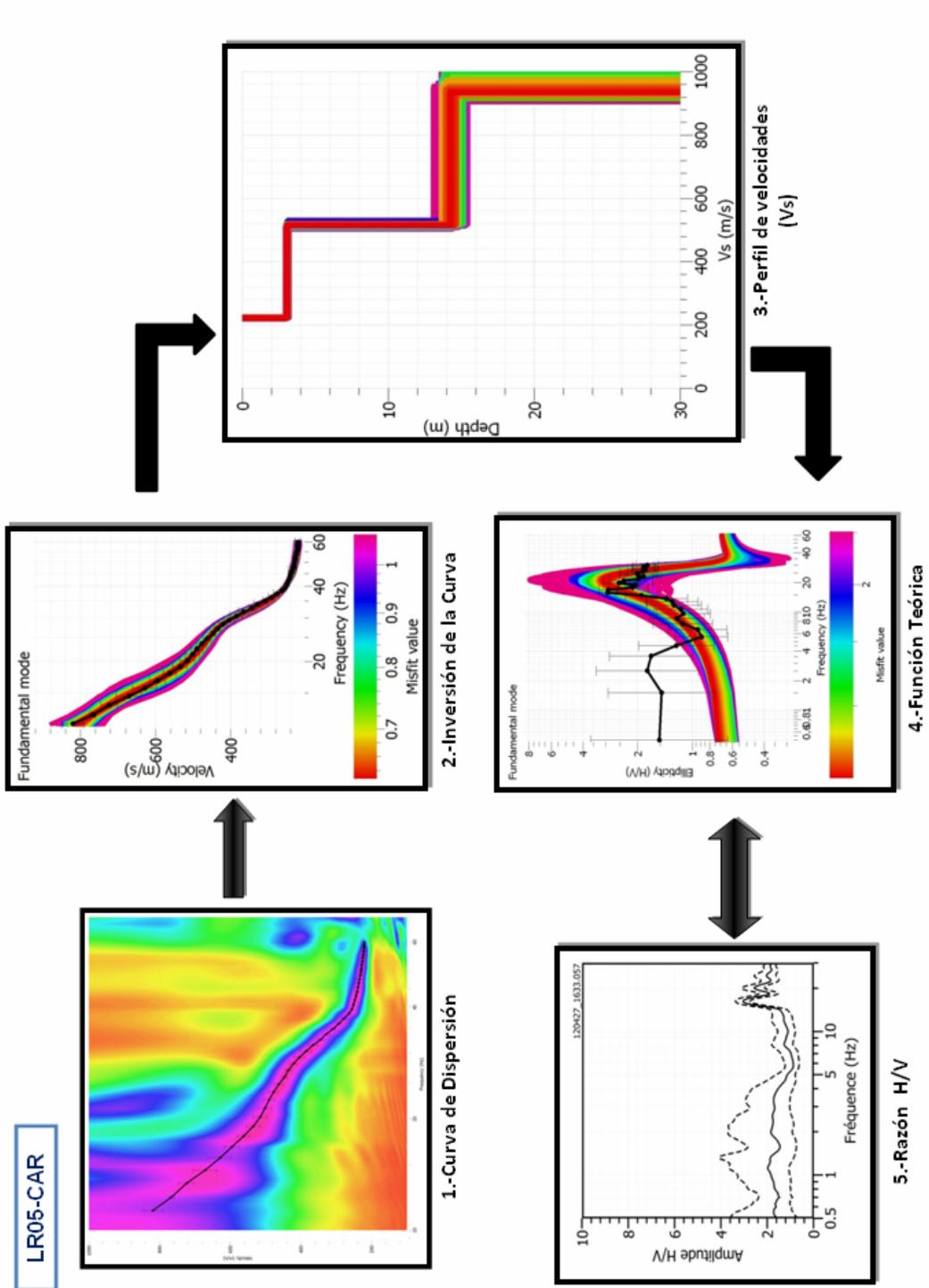


Figura 5.25 Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05-CAR (ver Figura 5.19).

CAPÍTULO VI MÉTODOS GEOTÉCNICOS

6.1 GENERALIDADES

Para realizar una investigación geotécnica, existen una gran cantidad de métodos que generalmente se utilizan combinados con el fin de cubrir los requerimientos técnicos exigidos por el proyecto y por la diversificación de los tipos de subsuelo encontrados.

Las calicatas son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media.

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa para el muestreo de suelos.

6.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, tienen como objetivo el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendiendo a la similitud de sus caracteres físicos y sus propiedades geomecánicas.

Una adecuada y rigurosa clasificación permite tener una primera idea acerca del comportamiento que cabe esperar de un suelo como cimiento, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente, suele ser suficiente conocer la granulometría y plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico. Además facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, dado su carácter universal.

De las múltiples clasificaciones existentes, estudiaremos la que sin duda es la más racional y completa clasificación de Casagrande modificada.

6.2.1 Clasificación General de Casagrande Modificada (SUCS)

Fue A. Casagrande quien en 1942 ideó este sistema genérico de clasificación de suelos, que fue empleado por el ejército de los EE.UU. para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II guerra mundial.

Diez años más tarde, y vista de la gran utilidad de este sistema de ingeniería, fue ligeramente modificado por el Bureau of Reclamation, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados.

Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades (Tabla 6.1).

Tabla 6.1: Símbolos Empleados por Casagrande

Símbolos de grupo (SUCS)			
TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo (Tabla 6.2).

Tabla 6.2: Tipología de Clasificación de Suelos por Casagrande

Tipología de suelos (SUCS)			
SÍMBOLO	Características generales		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
GP			Pobrementemente graduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
SP			Pobrementemente graduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Como puede deducirse de la anterior tabla, existe una clara distribución entre tres grandes grupos de suelos:

- (a) Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz 0.080 UNE (#200 ASTM).
- (b) Suelos de grano fino (M y C): Formados por suelos con al menos un 50% de contenidos de finos y arcillas.
- (c) Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación.

Asimismo, dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5 y un 12% de finos se clasificará como GW-GM.

Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consiguió ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). Este diagrama, conocido como la **Carta de Casagrande** (Figura 6.1) de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites así como las características de los suelos (Tabla 6.3) según SUCS:

Línea A: $IP = 0.73 * (LL - 20)$

Línea B: $LL = 50$

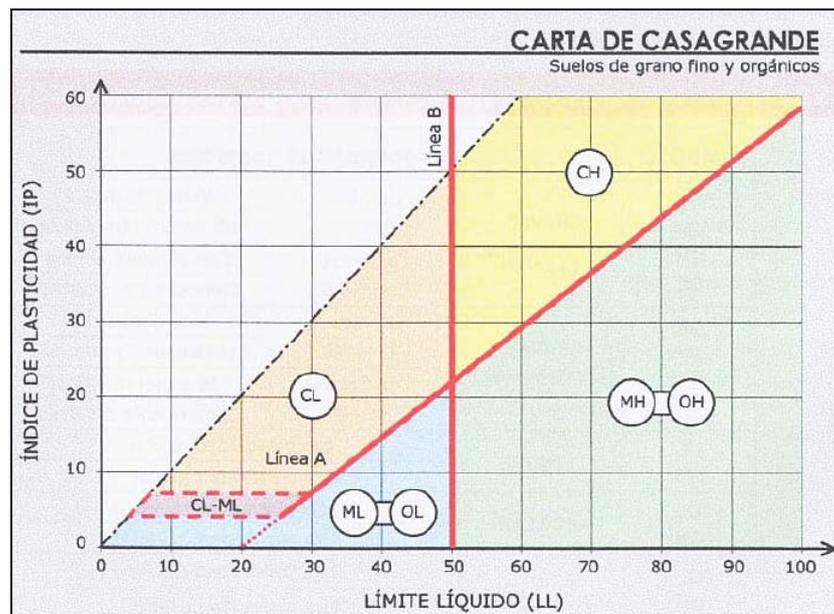


Figura 6.1: Carta de Casagrande para los suelos Cohesivos.

Tabla 6.3: Características de los Suelos Según (SUCS)

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	Densidad óptima P.M.	CBR In situ
SUELOS DE GRANO GRUESO	Gravas	GW	Excelente	Excelente	2.00 - 2.24	60 - 80
		GP	Buena a excelente	Excelente	1.76 - 2.08	25 - 60
		GM { d u	Buena a excelente	Aceptable a mala	2.08 - 2.32	40 - 80
			Buena	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	20 - 40
	GC	Buena	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	20 - 40	
	Arenas	SW	Buena	Excelente	1.76 - 2.08	20 - 40
		SP	Aceptable a buena	Excelente	1.60 - 1.92	10 - 25
		SM { d u	Aceptable a buena	Aceptable a mala	1.92 - 2.16	20 - 40
			Aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20
		SC	Mala a aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas (LL < 50)	ML	Mala a aceptable	Aceptable a mala	1.60 - 2.00	5 - 15
		CL	Mala a aceptable	Casi impermeable	1.60 - 2.00	5 - 15
		OL	Mala	Mala	1.44 - 1.70	4 - 8
	Limos y arcillas (LL > 50)	MH	Mala	Aceptable a mala	1.28 - 1.60	4 - 8
		CH	Mala a aceptable	Casi impermeable	1.44 - 1.76	3 - 5
		OH	Mala a muy mala	Casi impermeable	1.28 - 1.68	3 - 5
SUELOS ORGÁNICOS		Pt	Inaceptable	Aceptable a mala	-	-

6.3 CALICATAS

Las calicatas consisten en zanjas construidas en el suelo por medio de máquinas retroexcavadoras o a mano hasta una profundidad mínima de 3 metros, salvo en el caso que la compacidad del material encontrado o la presencia de agua no lo permita.

Este tipo de reconocimiento es muy útil para observar la disposición de las litologías más superiores, para determinar el espesor de la cobertera vegetal, para la toma de muestras alteradas de materiales representativos y para medir la posición del nivel freático.

A la hora de realizar una calicata debe estar presente un técnico especialista para la supervisión del trabajo. Para cada calicata se realizará una ficha con los principales resultados concernientes a: litología, espesores, muestra de laboratorio, consistencia, color, presencia de nivel freático y otras consideraciones de interés, así mismo se realizarán fotografías, tanto de los materiales extraídos como del interior de la calicata.

A la hora de realizar las calicatas, se deberá proceder a retirar la capa de tierra vegetal, a fin de no contaminar los materiales que se van a recuperar para su posterior análisis.

Los materiales recuperados se depositarán aun lado de la calicata que se está ejecutando. Cada vez que el material cambie ostensiblemente de composición se depositará aparte. De cada

calicata se procederá a una recogida sistemática de muestras alteradas para su posterior ensayo en el laboratorio. Para tomar la muestra se recogerá una porción de la parte media otra porción de la parte superior y otra porción de la parte inferior, de cada uno de los diferentes materiales seleccionados. Las muestras se recogerán en sacos de plástico impermeable.

Se debe proceder igualmente a identificar la muestra, por medio de su etiquetado, tanto en el interior de los sacos como en el exterior, con tinta indeleble. El tamaño de la muestra dependerá en todo caso de su granulometría y en todo caso se realizará conforme a las normas vigentes.

6.3.1 Calicatas Realizadas en el Área de Estudio

Los estudios geotécnicos tienen por finalidad analizar y cuantificar las características físicas de los suelos, siendo su comportamiento geotécnico relevante al momento de utilizarlo como elemento de medida para el soporte de una estructura determinada (cimentaciones). Para el estudio de los suelos de Carapongo se construyeron 10 calicatas (ver Tabla 6.4; Figura 6.2) y el análisis se efectuó en el **Laboratorio Geotécnico** de la **Universidad Agraria La Molina**, lo cual permitió clasificar a los suelos utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). El total de la información analizada permitió identificar la presencia de hasta 7 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (ver Tabla 6.5; Figura 6.3):

- 1) **Suelo GW-GM**: Corresponde a gravas redondeadas a sub redondeadas bien gradadas y con matriz arenosa. El contenido de humedad es de 1.91% y 5.60%, no presentan plasticidad y se encuentran, desde la entrada a Huachipa pasando por el ovalo Huañe, siguiendo la carretera a Cajamarquilla y en las Asociaciones Maria Magdalena, Virgen de Guadalupe y Nuevo Horizonte.
- 2) **Suelo GW-GM**: Corresponde a gravas gradada adecuadamente con finos y gravas angulosas a sub redondeadas. El contenido de humedad es de 8.87%, no presentan plasticidad y se encuentran en la Asociación Campo Sol, Universidad Peruana Unión y Villa Chabelita.
- 3) **Suelo Tipo GP**: Corresponde a gravas arenosas pobremente gradadas con rocas sub-redondeadas. El contenido de humedad es de 2.30%, no presentan plasticidad y que se encuentran en la asociación los Jasminez y Los Tulipanes.

- 4) **Suelo Tipo GP-GM:** Corresponde a gravas arenosas mal gradadas con finos limosos-arcillosos y gravas sub redondeadas. Presenta mala compactación. El contenido de humedad varía de 1.33% a 3.54%, no presentan plasticidad y se encuentran en la Urb. San Antonio de Carapongo, Asociación Aviadores y C.P. Virgen del Carmen.

- 5) **Suelo Tipo SP:** Corresponde a arenas pobremente gradadas con poco finos y con rocas sub angulosas. El contenido de humedad es de 0.32%, no presentan plasticidad y se encuentra como un lente en el AA.HH. Las Praderas de Huachipa.

- 6) **Suelo Tipo SM:** corresponde a arenas medias a finas pobremente gradadas con gravas angulosas. El contenido de humedad es de 3.21%, no presentan plasticidad y se encuentra en la Urb. Las Terrazas de Caraponguillo.

- 7) **Suelo tipo ML:** *corresponde a limos inorgánicos, arenas muy finas medianamente compacto. El contenido de humedad es de 24.81%, presenta plasticidad de 5.23% y se encuentra como un lente en la Villa Migdal Shalom.*

Tabla 6.4: *Coordenadas UTM de las 10 Calicatas en Carapongo*

CALICATAS	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m.s.n.m)
C-26	8674920	299878	606
C-27	8674106	299854	542
C-28	8673432	298334	530
C-29	8672598	298201	492
C-30	8673678	296691	523
C-31	8672340	296694	463
C-32	8672268	295372	441
C-33	8672286	294555	430
C-34	8671676	292657	399
C-35	8673318	292652	407

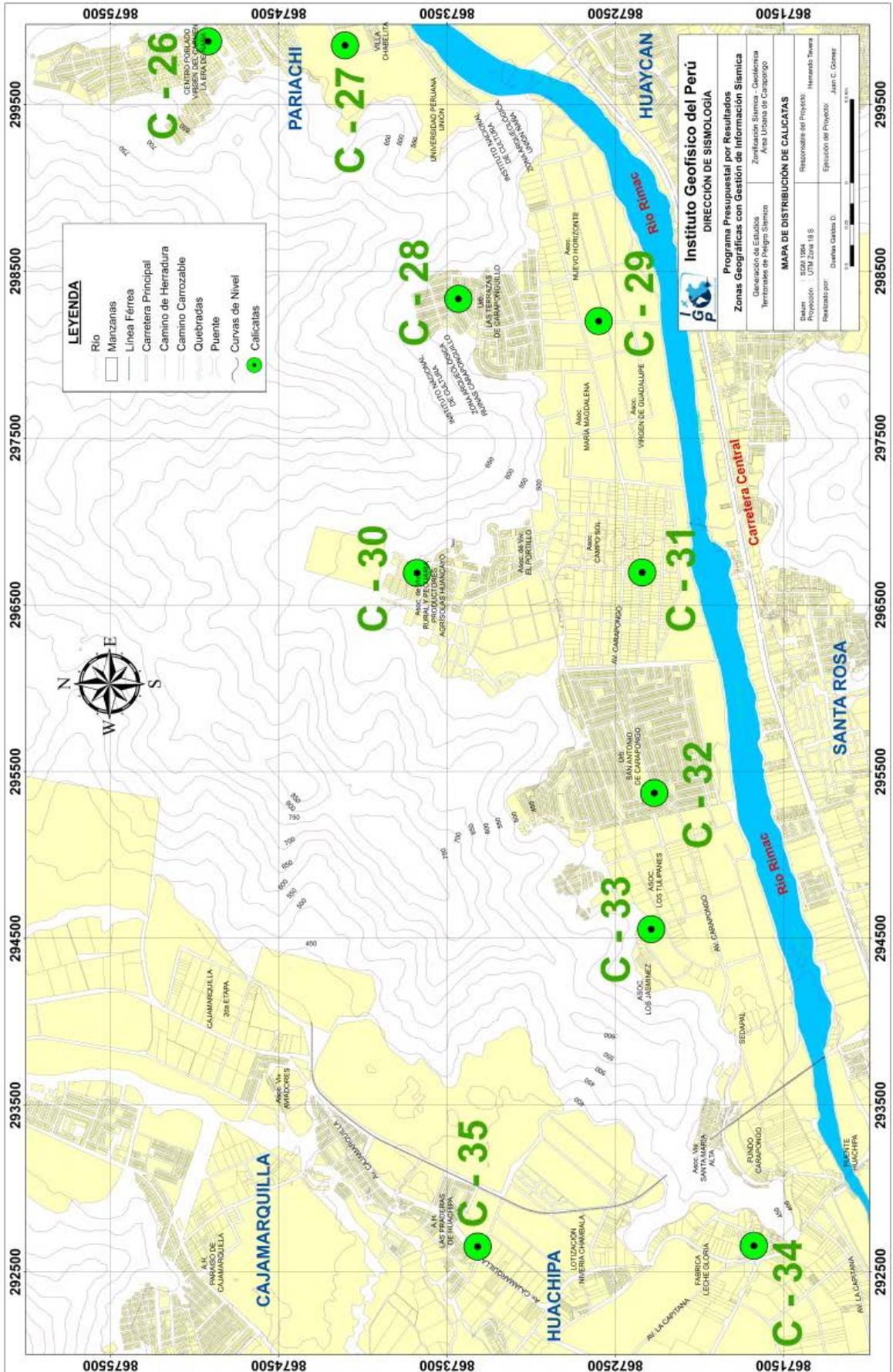


Figura 6.2: Distribución espacial de las 10 calicatas construidas en el área de Carapongo.

Tabla 6.5: Clasificación de Suelos SUCS para el Área de Carapongo

CALICAT AS	Profundidad (m).	Grava (> 4.76mm)	Arena (>0.074mm, <4.76mm)	Finos (<0.074mm)	Uniformidad	Curvatura	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Contenido de Humedad (%)	CLASIFICACION SUCS	Denominación
C-26	2.50	74.0	20.0	6.0	72.69	4.29	NT	NP	-	3.54	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-27	2.70	0.0	1.0	99.0	-	-	36.77	31.54	5.23	24.81	ML	Limos organicos
C-28	2.25	24.0	62.0	14.0	-	-	NT	NP	-	3.21	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-29	2.50	56.0	43.0	1.0	28.79	1.64	NT	NP	-	1.91	GW con arena	Grava bien Gradada
C-30	2.30	50.0	45.0	5.0	31.83	6.44	NT	NP	-	1.33	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-31	2.60	59.0	36.0	5.0	91.23	1.20	NT	NP	-	8.87	GW-GM con arena	Grava reg. Gradada con finos
C-32	2.40	52.0	43.0	5.0	26.25	3.32	NT	NP	-	2.67	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-33	2.40	81.0	18.0	1.0	7.09	0.69	NT	NP	-	2.30	GP con arena	Grava mal gradada
C-34	2.50	66.0	31.0	3.0	65.86	2.47	NT	NP	-	5.60	GW con arena	Grava bien Gradada
C-35	2.70	4.0	95.0	1.0	3.45	1.03	NT	NP	-	0.32	SP	Arena pob. Gradada

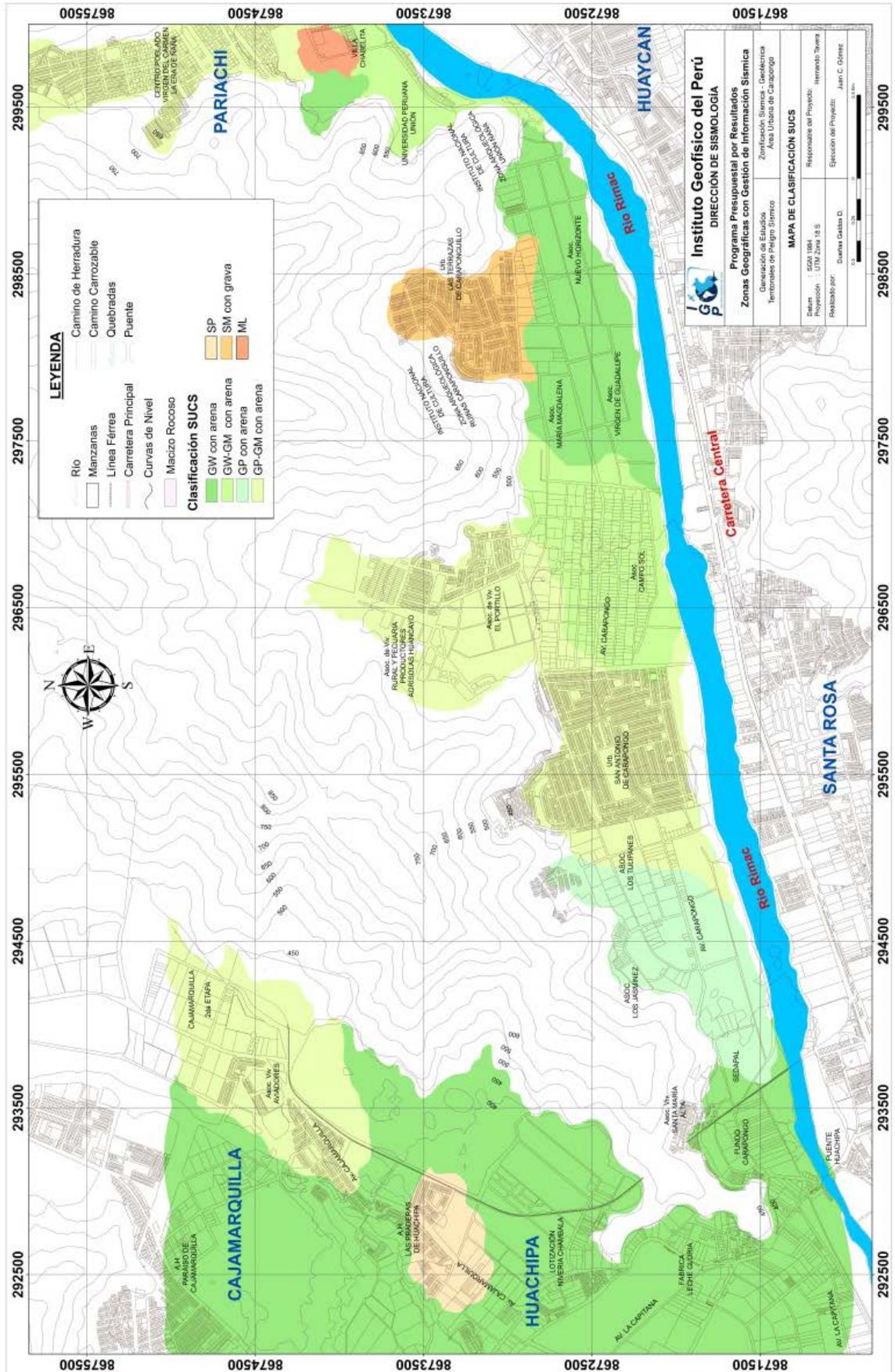


Figura 6.3: Mapa de clasificación de suelos SUCS para el área urbana de Carapongo.

6.4 CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS

El objetivo es explicar los principios que se usan, para determinar la capacidad portante de los suelos, así como sus criterios de cálculo y diseños locales. Es necesario poner énfasis en el ensayo de laboratorio de corte directo, a fin aplicar la teoría del Dr. Karl Terzaghi.

- ✓ **Capacidad de Carga Limite (qd).**- Máxima presión que se puede aplicar a la cimentación, sin que ésta penetre en el suelo.
- ✓ **Capacidad de Carga Admisible (qadm).**- Es la carga límite dividida entre un factor de seguridad. A este esfuerzo se le llama capacidad portante.

$$q_{adm} = \frac{q_d}{FS}$$

Terzaghi recomienda que FS no sea menor que 3.

- ✓ **Esfuerzo Neto (q neto).**- Es el esfuerzo útil, que queda para la superestructura, después de quitarle el esfuerzo que va a utilizar el peso del relleno del suelo y la sobrecarga de piso:

$$q \text{ neto} = q_{adm} - \gamma * D_f - \text{sobrecarga de piso}$$

Dónde:

- γ = peso específico del relleno
 - D_f = Profundidad de cimentación
 - Sobrecarga de piso = 500 kg/m²
- ✓ **Presión de Contacto (qc).**- Es producida por la carga muerta y viva de la superestructura, y actúa debajo de la zapata, en el encuentro zapata-suelo. En el diseño de cimentaciones, se busca que **qc** sea menor o igual a **q neto**.
 - ✓ **Ecuación de Mohr-Coulomb.**- Mohr presentó en 1900 una teoría sobre la ruptura de materiales, según la cual, la falla de un suelo se presenta debido a la combinación crítica de esfuerzos verticales y horizontales (Figura 6.4).

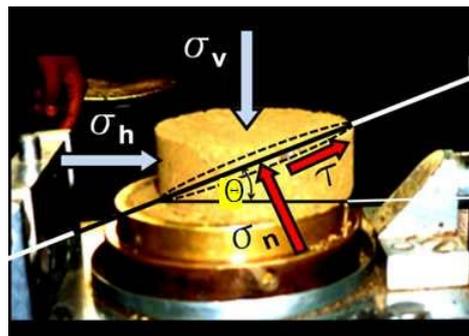


Figura 6.4: Esfuerzos en el interior de una masa elástica.

Del equilibrio de fuerzas en ambas direcciones, del bloque triangular se obtiene:

$$\tau = \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2} \operatorname{sen} 2\theta \quad \dots (1)$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} + \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2} \cos 2\theta \quad \dots (2)$$

Lo que se puede representar en un diagrama de Mohr (Figura 6.5) de la siguiente manera:

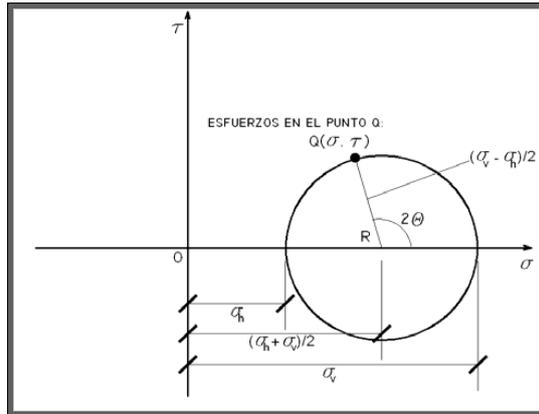


Figura 6.5: Diagrama de Mohr.

La teoría de Coulomb, relaciona el esfuerzo cortante t, como función del esfuerzo normal n, la tangente del ángulo de fricción interna y la cohesión c (Figura 6.6):

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c \quad \dots (3)$$

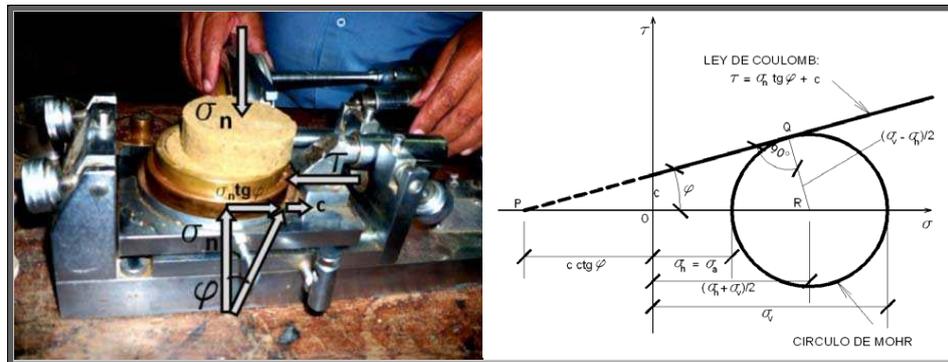


Figura 6.6: Esfuerzos normales y cortantes en un bloque de suelo, que siguen la Teoría de Coulomb.

De la Figura 6.6 se obtiene:

$$\operatorname{sen} \varphi = \frac{\frac{\sigma_v - \sigma_h}{2}}{\frac{\sigma_h + \sigma_v}{2} + c \operatorname{ctg} \varphi} \quad \dots (4)$$

Despejando se obtiene el esfuerzo horizontal, en una masa de suelo, en función del esfuerzo normal, el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo:

$$\sigma_h = \sigma_v \frac{1 - \text{sen } \varphi}{1 + \text{sen } \varphi} - 2c \frac{\cos \varphi}{1 + \text{sen } \varphi} \quad \dots (5)$$

$$\sigma_h = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad \dots (6)$$

Siendo:

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } \varphi}{1 + \text{sen } \varphi} \quad \dots (7)$$

La ecuación (6), representa la relación de **Mohr-Coulomb**, o el estado de esfuerzos en una masa de suelo, cuando hay fuerzas verticales y horizontales. Relaciona los esfuerzos efectivos horizontales con los esfuerzos verticales, a través de los parámetros, ángulo de fricción interna y la cohesión.

6.4.1 El Ensayo de Corte Directo

Es un ensayo de cortante, consiste en aplicar esfuerzos verticales y horizontales, a tres muestras de suelo, y determinar el instante de falla a cortante. Cuando se aplica un esfuerzo vertical fijo de 0.5 kg/cm², la primera muestra falla con un esfuerzo horizontal o cortante τ_1 , la segunda muestra es sometida a un esfuerzo de 1.0 kg/cm², y falla con un esfuerzo cortante τ_2 . La tercera es sometida a un esfuerzo de compresión de 1.5 kg/cm², y falla con un cortante τ_3 . Con estos tres pares ordenados se grafica el diagrama de ruptura de Mohr. También, se hace uso del análisis de regresión lineal para obtener el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo (Figura 6.7).

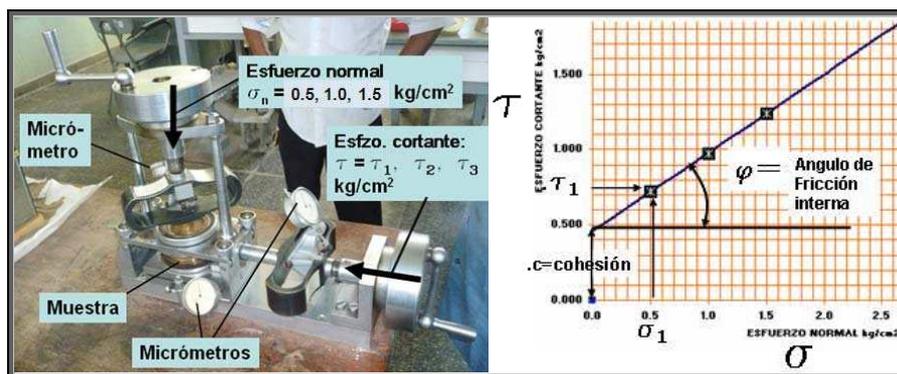


Figura 6.7: Detalles del equipo de corte directo y Diagrama de ruptura de Mohr.

Finalmente, se realizaron los ensayos de corte directo para determinar la resistencia del terreno y/o la capacidad portante de los suelos para los 10 puntos analizados en este estudio y los resultados se presentan en la Tabla 6.6, que seguidamente se detalla.

Tabla 6.6: Valores de Capacidad Portante para cada Calicata - Carapongo

CALICATAS	Angulo de Fricción interna del Suelo (°)	Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm ²)	Densidad seca Promedio (gr/cm ³) (< N° 4)	Humedad Natural (%)	Capacidad Carga Admisible (Kg/cm ²)
C-26	31.04	0.02	1.76	3.54	2.08
C-27	17.10	0.12	1.41	24.81	1.06
C-28	27.67	0.03	1.66	3.21	1.64
C-29	29.96	0.01	1.71	1.91	1.57
C-30	30.10	0.01	1.78	1.33	1.81
C-31	29.10	0.03	1.57	1.33	1.40
C-32	29.10	0.03	1.67	2.67	1.49
C-33	30.74	0.00	1.69	2.3	1.87
C-34	31.03	0.00	1.60	5.6	1.84
C-35	28.21	0.00	1.68	0.32	1.34

Fuente: IGP

Para el área urbana de Carapongo, la capacidad portante de suelos se ha calculado para una profundidad y ancho mínimo de cimentación de 1.00 m, obteniéndose valores de capacidad portante de media a baja resistencia al corte (ver Tabla 6.7 y Figura 6.8):

Tabla 6.7: Valores de Capacidad Portante Área Urbana de Carapongo

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm ²)	Denominación
1.0 – 1.5	BAJA
1.5 – 2.5	MEDIA

Fuente: IGP

Los suelos ubicados en el extremo Oeste, Asociación de Vivienda El Portillo, Urb. Las Terrazas de Caraponguillo, Asociación María Magdalena, Asociación Nuevo Horizonte y C.P. Virgen del Carmen presentan capacidad media en un 70% del área total. En el A.H. Las Praderas de Huachipa, Urb. San Antonio de Carapongo, Asociación Campo Sol, Universidad Peruana Unión y en la Villa Chabelita, los suelos presentan valores de capacidad baja.

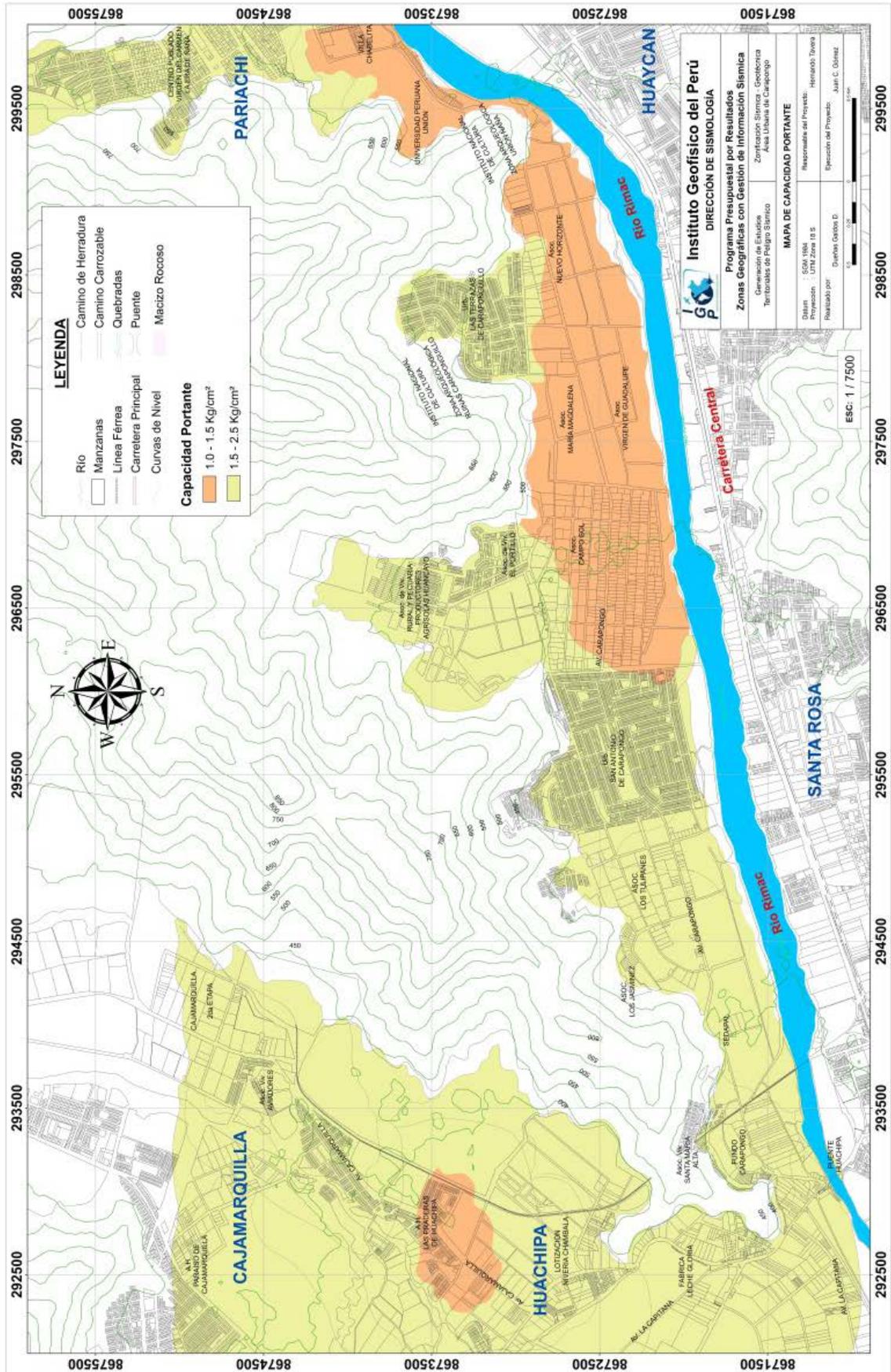


Figura 6.8: Mapa de capacidad portante para el área urbana de Carapongo.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA-GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana de Carapongo considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Las características dinámicas del suelo han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S3. Finalmente, para el área urbana de Carapongo se propone la siguiente zonificación (Figura 7.1):

ZONA I

Zona conformada por estratos de grava coluvial-aluvial presentes a nivel superficial o cubiertos por depósitos de aluvial reciente de poco espesor. Los estratos se encuentran mayormente en los cerros y en el extremo oeste del área de estudio. El suelo tiene un comportamiento semi-rígido con periodos de vibración, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3 s; es decir, los que corresponden a suelos de Tipo S1.

ZONA II

La zona incluye las planicies aluvionales conformadas por columnas de gravas compuestas por arenas intercaladas con niveles finos de limos y arcillas, y espesores entre 6 y 10 m. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, varían entre 0.3 y 0.5 s, correspondiendo a suelos de Tipo S2. Esta zona abarca principalmente la zona céntrica del área urbana de Carapongo y el margen derecho del Río Rímac. Asimismo, considera dos zonas de menor dimensión ubicadas en los extremos norte y oeste del área de estudio, sobre el AA.HH. El Vallecito y parte de la Asociación Los Tulipanes.

ZONA III

Zona conformada, en su mayor parte, por depósitos de aluviales recientes con suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentran en estado suelto. Los periodos predominantes identificados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico es tipificado como un suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana. En este estudio, la zona es considerada como especial por presentar un comportamiento dinámico complejo debido, principalmente, a la interacción de los depósitos con el alto nivel freático identificado; por lo tanto, requiere de estudios específicos.

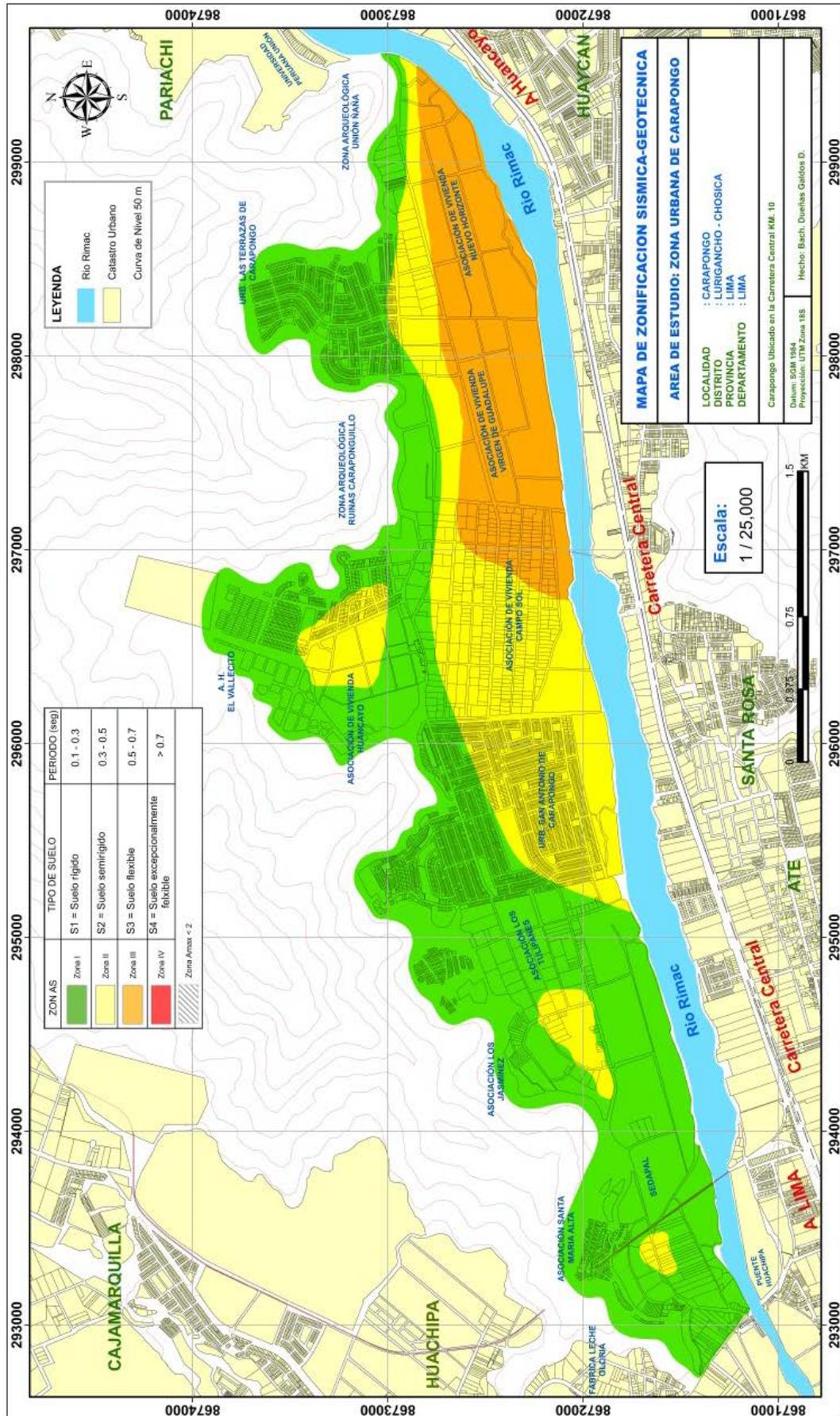


Figura 7.1: Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de Carapongo.

CONCLUSIONES

La realización del estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Carapongo, Distrito de Lurigancho-Chosica, Provincia de Lima, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- ***Aspectos Geológicos:***

El área urbana de Carapongo se emplaza sobre el grupo Casma constituido por una serie volcano-detritica, intruídas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalítico-granodioríticos que tienen una gran extensión dentro del Batolito de la Costa y por afloramientos ígneos del grupo Patap constituidos por cuerpos gabros-dioritas del cretáceo superior. Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales cuya edad geológica pertenecen al cuaternario pleistoceno (Qp-al) y al cuaternario reciente (Qr-al). El valle es de mediana amplitud y se interrumpe en varios sectores por conos aluviales que desembocan en el río Rímac.

- ***Aspectos Geomorfológicos:***

El área urbana de Carapongo se encuentra comprendida entre las cotas de 350 a 750 m.s.n.m y su morfología presenta una forma típica de “V” dentro de un fondo angosto limitado por cadenas montañosas de modera a fuerte pendiente. Se ha identificado la presencia de cuatro unidades geomorfológicas en base a las pendientes identificadas en el mapa MDE: Quebradas, Terrazas, Colinas y Laderas de pendiente media y empinada.

- ***Aspectos Geodinámicos:***

Se ha identificado e inventariado la ocurrencia de 21 movimientos en masa caracterizados por flujos de detritos y caída de rocas provenientes de zonas de pendiente alta. Los agentes detonantes típicos son las precipitaciones de lluvia, sismos y la actividad antrópica.

- ***Aspectos Geotécnicos:***

La elaboración de 10 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el área urbana de Carapongo, la presencia de hasta 7 tipos de suelos,

los mismos que ha sido caracterizado de acuerdo a la clasificación SUCS. De acuerdo a su capacidad portante, los suelos existentes en la Asociación de Vivienda El Portillo, Urb. Las Terrazas de Carapungillo, Asociación María Magdalena, Asociación Nuevo Horizonte y C.P. Virgen del Carmen presentan Capacidad Portante Media en un 70% de su área total. En el A.H. Las Praderas de Huachipa, Urb. San Antonio de Carapungo, Asociación Campo Sol, Universidad Peruana Unión y en la Villa Chavelita, los suelos presentan valores de Capacidad Portante Baja.

- ***Aspectos Sísmicos y Geofísicos:***

El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar gran variedad de frecuencias predominantes que van desde 0.5 a 23 Hz, lo cual sugiere que el suelo sobre el cual se encuentra el área urbana de Carapungo es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 2 y 23 Hz ha permitido identificar la presencia de tres áreas con similares valores de frecuencias, lo cual confirma la heterogeneidad del suelo.

Los estudios con arreglos sísmicos lineales y circulares han permitido identificar la presencia de suelos con velocidades de ondas de corte (Vs) de 170 a 220 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 1 a 3 metros, suelos con velocidades Vs de 280 a 500 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 9 a 12 metros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 600 a 900 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras.

- ***Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo):***

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia en el área urbana de Carapungo de 3 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1, S2 y S3. Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Carapungo.

RECOMENDACIONES

Los resultados contenidos en el presente estudio de investigación deben ser utilizados por las autoridades locales de Carapongo (Distrito de Lurigancho-Chosica) y regionales de Lima para una mejor Gestión del Riesgo ante la ocurrencia de sismos. Del mismo modo, para aportar con las normativas necesarias para el desarrollo y expansión urbana del distrito de Lurigancho-Chosica, área de Carapongo.

También es recomendable realizar estudios de zonificación sísmica para todas las ciudades más importantes del litoral peruano que en su mayoría han tenido una expansión urbana y son vulnerables a eventos sísmicos (terremotos) que ocasionan daños materiales y pérdidas de vidas humanas, es necesario contar con estos estudios de suelos y zonificación sísmica-geotécnica para un respectivo ordenamiento territorial, expansión urbana y prevención de desastres.

BIBLIOGRAFÍA

- **Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999):** Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtremores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
- **APESSEG (2005):** Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- **Aki, K., (1957):** Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415–457.
- **Bernal, I. (2006):** Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – Mexico. Tesis de Maestría, II-UNAM, Mexico.
- **Bernal, I. y H. Tavera (2007):** Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.
- **Bernal, I. y H. Tavera (2007):** Estimación de frecuencias predominantes y amplificaciones relativas en los terrenos del BCP-Ciudad de Trujillo. Informe presentado al BCP, 22p.
- **Capon, J.,(1973):** Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array, in Methods in Computational Physics, Vol. 13, ed. Bolt, B.A., Academic Press Inc, New York.
- **Casagrande. A. (1948):** Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
- **Dorbath, L., Cisternas, A., Dorabath, C. (1990):** Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576.
- **Fäh D., Kind F. and Giardini D. (2002):** Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects. Journal of Seismology, 7, 449-467.
- **Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992):** A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 642-659, 1992.
- **INGEMMET (1999):** 501 Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999. Sector Energía y Minas.
- **Lachet, C. y P. Y. Bard (1994):** Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura´s technique, J. Phys. Earth., 42, 377-397 pp.
- **Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a):** Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.

-
- **Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b)**: Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, *Soil. Dyn. & Earthq. Eng.* 13, 413-423 pp.
 - **Nakamura, Y., (1989)**: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No.1,25-33 pp.
 - **Norma E-30 (2003)**: Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.
 - **Ordaz, M., A. Aguilar, J. Arboleda (2007)**: Program for computing seismic hazard: CRISIS-2007 V1.1., Institute of Engineering, UNAM, Mexico.
 - **Okada, H. (2003)**: The Microtremor Survey Method, Geophysical monograph series, No 12, Society of exploration geophysicists, 135 pp.
 - **PREDES (1989)**: Chosica – Lima, huaycos del año 1987. www.predes.org.pe
 - **Sadigh, K., C. Chang, J. Egan, F. Makdisi, R. Young (1997)**: Attenuation relationship for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data, *Seis. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.
 - **Santacana, N. (2001)**: Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña.
 - **Silgado, E. (1978)**: Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
 - **Tavera, H., Buforn, E. (2001)**: Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5: 519–539, 2001.
 - **Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010)**: Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
 - **Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010)**: Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
 - **Tavera, H., Bernal, I., Condori, C. (2012)**: Propuesta del mapa de Peligro Sísmico para el Perú. Sismología, IGP.
 - **Young, R., S. Chiou, W. Silva, J. Humphrey (1997)**: Strong Ground Motion Attenuation Relationship for subduction zone earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.

ANEXO 1

Descripción y Análisis de las Calicatas construidas en el Área Urbana de Carapongo

CALICATA C-26

Ubicación : Frente a puerta principal del colegio FE Y ALEGRIA N°41.
Coordenadas Gps : Norte 8'674,920 m Este 299,878 m Elevación: 606 m.s.n.m.
Profundidad : 2.50 m
Nivel Freático : N.P.

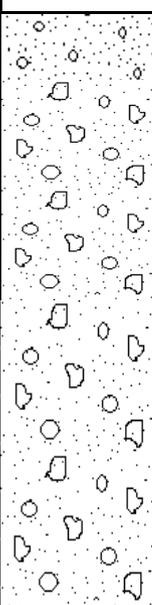
PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20		Arcilla limosa con gravas de 1"		
0.40		Arena limosa con gravas sub angulosas de 1" hasta 5" y mala Compactación.		
0.60				
0.80				
1.00				
1.20		Arena limosa con gravas de 3" a 4", mala compactación.	M-26	GP-GM con arena
1.40				
1.60				
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				



Figura C-26: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-27

Ubicación : Universidad Peruana Unión. A una cuadra de la garita N°1.
Coordenadas Gps : Norte 8'674,106 m Este 299,854 m Elevación: 542 m.s.n.m.
Profundidad : 2.70 m
Nivel Freático : N.P.

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20	[Simbolo de suelo: puntos y círculos]	Relleno de arcilla con gravilla.		
0.40		Arcilla compacta húmedo color marrón oscuro.		
0.60				
0.80				
1.00				
1.20				
1.40				
1.60				
1.80	[Simbolo de suelo: puntos y círculos]	Arena limosa con gravas < a 1" de en 1%. Medianamente compactado.		
2.00		Suelo arcilloso de plasticidad alta. Color gris pardo. Muestra inalterada.		
2.20				
2.40				
2.60		M-27	ML	
2.80				
3.00				



Figura C-27: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-28

Ubicación : Intersección de Alameda las terrazas con la calle 22.
Coordenadas Gps : Norte 8'673,432 m Este 298,334 m Elevación: 530 m.s.n.m.
Profundidad : 2.25 m
Nivel Freático : N.P.

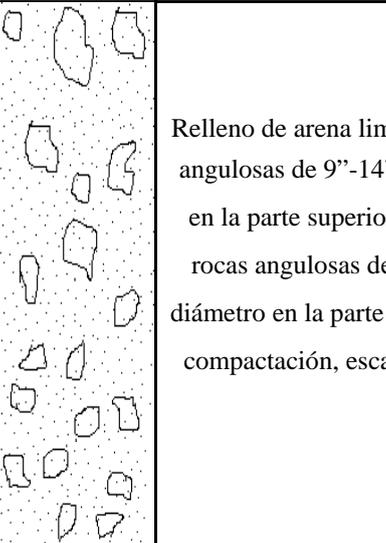
PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20		Relleno de arena limosa con rocas angulosas de 9"-14" de diámetro en la parte superior e inferior y rocas angulosas de hasta 9" de diámetro en la parte inferior. Mala compactación, escasa humedad.	M-28	SM con grava
0.40				
0.60				
0.80				
1.00				
1.20				
1.40				
1.60				
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				



Figura C-28: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-29

Ubicación : Intersección calles Los robles y las Magnolias.
Coordenadas Gps : Norte 8'672,598 m Este 298,201 m Elevación: 492 m.s.n.m.
Profundidad : 2.50 m
Nivel Freático : N.P.

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20	[Simbolo: Arena con limos y arcillas y rocas redondeadas de 3"-5". Presencia de material de construcción y plásticos.]	Arena con limos y arcillas y rocas redondeadas de 3"-5". Presencia de material de construcción y plásticos.		
0.40				
0.60				
0.80				
1.00	[Simbolo: Arena arcillosa con rocas redondeadas de 1" a 3" de diam.]	Arena arcillosa con rocas redondeadas de 1" a 3" de diam.		
1.20				
1.40				
1.60	[Simbolo: Arena gruesa con rocas redondeadas a sub redondeadas de 4" a 7" y de 15" a 18" de diámetro.]	Arena gruesa con rocas redondeadas a sub redondeadas de 4" a 7" y de 15" a 18" de diámetro.	M-29	GW con arena
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				



Figura C-29: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-30

Ubicación : Último paradero de la Línea EO-121 "COVIDA"- Carapongo.
Coordenadas Gps : Norte 8'673,678 m Este 296,691 m Elevación: 523 m.s.n.m.
Profundidad : 2.30 m
Nivel Freático : N.P.

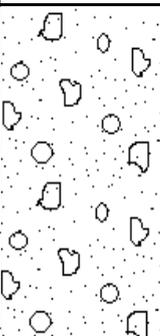
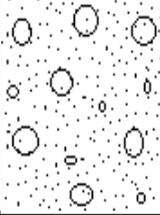
PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20		Relleno de arena limosa con rocas subangulosas de 3"-5" de diámetro en un 5%. Mala compactación, No presenta humedad.		
0.40				
0.60				
0.80				
1.00				
1.20				
1.40		Arena limosa con presencia de gravas de 3" - 6". Mala compactación.	M-30	GP-GM con arena
1.60				
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				



Figura C-30: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-31

Ubicación : Intersección de calles El Portillo y Cajamarca.
Coordenadas Gps : Norte 8'672,340 m Este 296,694 m Elevación: 463 m.s.n.m.
Profundidad : 2.60 m
Nivel Freático : N.P.

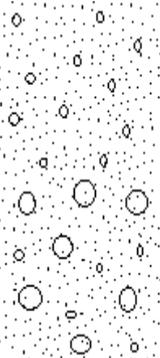
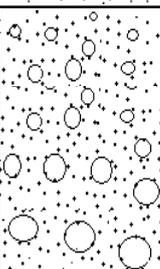
PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20		Suelo limo arcilloso con gravas redondeadas de 1"-2" en 1% y de 4"-5% en un 5%.		
0.40				
0.60				
0.80				
1.00				
1.20				
1.40				
1.60		Arena limosa con gravas de 1" hasta 4" en 15% y rocas de 8" hasta 14" en 5%. No presenta humedad. Mala Compactación.	M-31	GW-GM con arena
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				



Figura C-31: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-32

Ubicación : Intersección de calles El Portillo y Cajamarca.
Coordenadas Gps : Norte 8'672,268 m Este 295,372 m Elevación: 441 m.s.n.m.
Profundidad : 2.40 m
Nivel Freático : N.P.

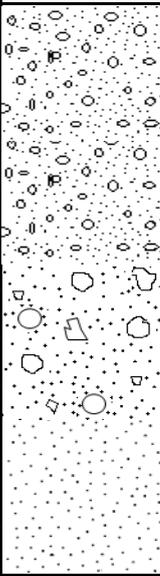
PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20		Arena limo arcillosa semi compactado con gravas de 1", 2" hasta 5".		
0.40				
0.60				
0.80				
1.00		Arena gruesa con gravas de 8".		
1.20				
1.40				
1.60				
1.80				
2.00				
2.20	Arena limosa con gravas de 1"-2" y rocas de 15"-18". Presenta escasa humedad	M-32	GP-GM con arena	
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				



Figura C-32: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-33

Ubicación : Intersección de calles El Portillo y Cajamarca.
Coordenadas Gps : Norte 8'672,286 m Este 294,555 m Elevación: 430 m.s.n.m.
Profundidad : 2.40 m
Nivel Freático : N.P.

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20		Arena limo arcillosa con gravas de ½" - 3". Medianamente compacta No presenta humedad	M-33	GP con arena
0.40				
0.60				
0.80		Arena gruesa con gravas de 3" hasta 6" en 30% con rocas de 9" hasta 12" de diámetro. Medianamente compacta. Color rojizo por presencia de minerales de Fe. Moderadamente húmedo.		
1.00				
1.20				
1.40				
1.60				
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				



Figura C-33: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-34

Ubicación : Intersección de Calle San Martín y Coriraya. Ovalo Huañe.
Coordenadas Gps : Norte 8'671,676 m Este 292,657 m Elevación: 399 m.s.n.m.
Profundidad : 2.50 m
Nivel Freático : N.P.

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)			
0.20		Suelo limo arcilloso con gravilla medianamente compacto. Escasa humedad.					
0.40							
0.60							
0.80							
1.00							
1.20							
1.40					Arena gruesa con presencia de gravas de 2'' – 6'' (< 5%) y rocas pequeñas de 8'' en 2% en promedio, medianamente compacta y moderadamente húmedo.	M-34	GW con arena
1.60							
1.80							
2.00							
2.20							
2.40							
2.60							
2.80							
3.00							



Figura C-34: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

CALICATA C-35

Ubicación : Intersección de Av. Chosica y Calle Huanta.
Coordenadas Gps : Norte 8'673,318 m Este 292,652 m Elevación: 407 m.s.n.m.
Profundidad : 2.70 m
Nivel Freático : N.P.

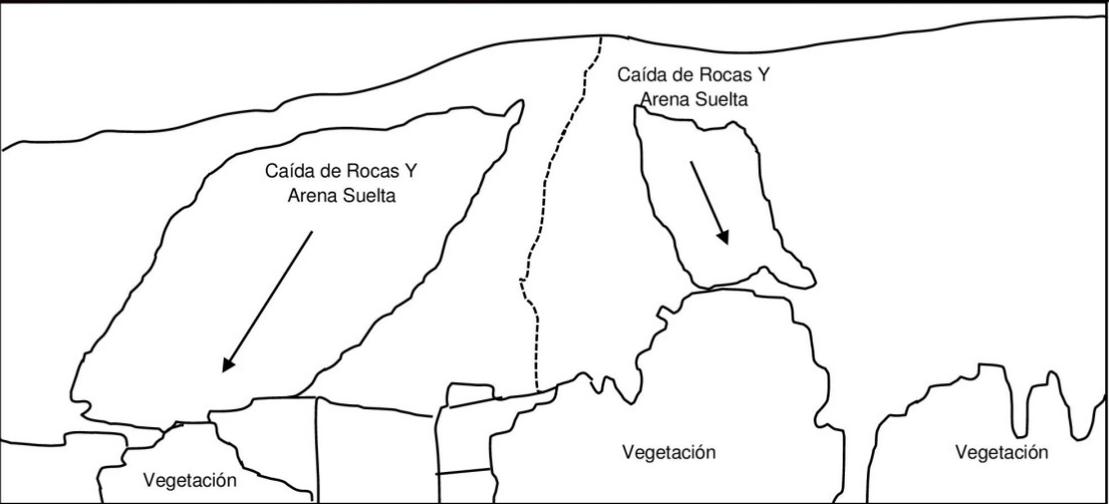
PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20	[Symbol]	Relleno de arena gruesa con material de construcción y plásticos.		
0.40				
0.60	[Symbol]	Arena gruesa con gravas subangulosas de 1".		
0.80				
1.00				
1.20				
1.40	[Symbol]	Suelo limo arcillosa. Moderadamente húmedo, color pardo gris y consolidación media.		
1.60				
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60	[Symbol]	Arena gruesa limpia.	M-35	SP
2.80				
3.00				

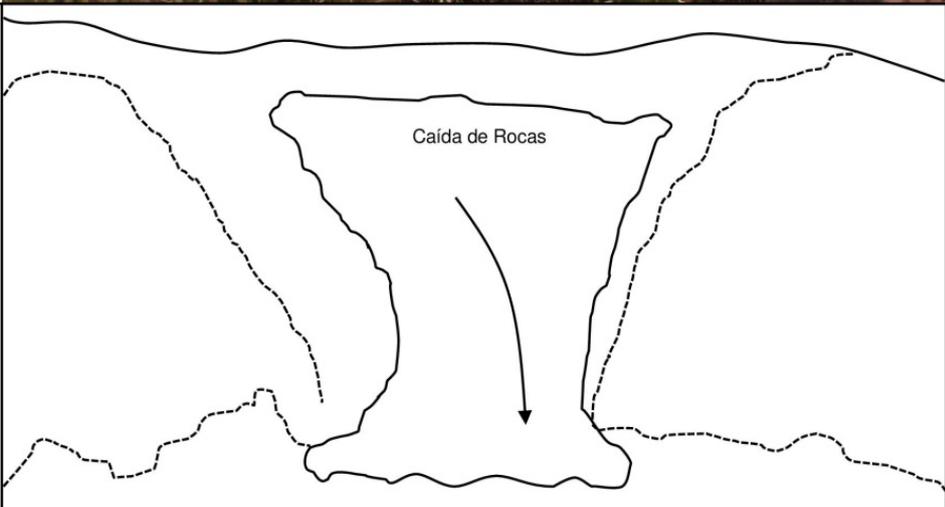


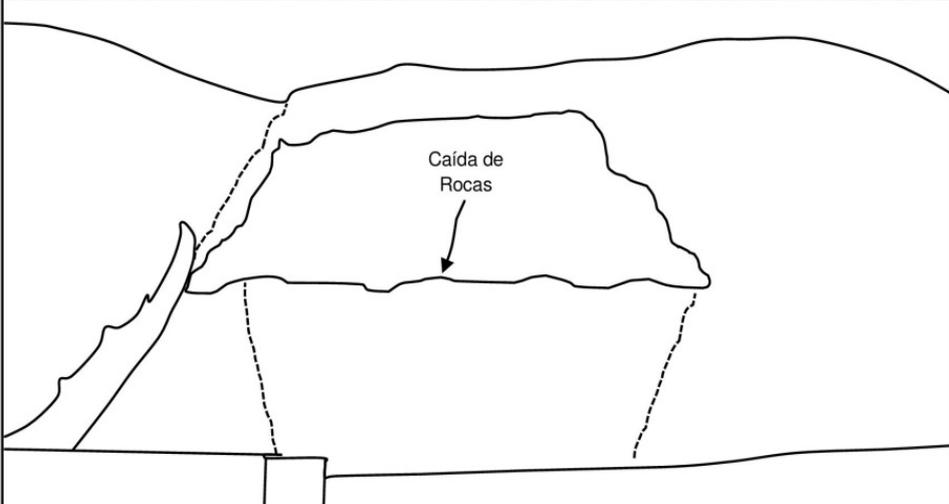
Figura C-35: Se observa la calicata tanto en superficie como en profundidad.

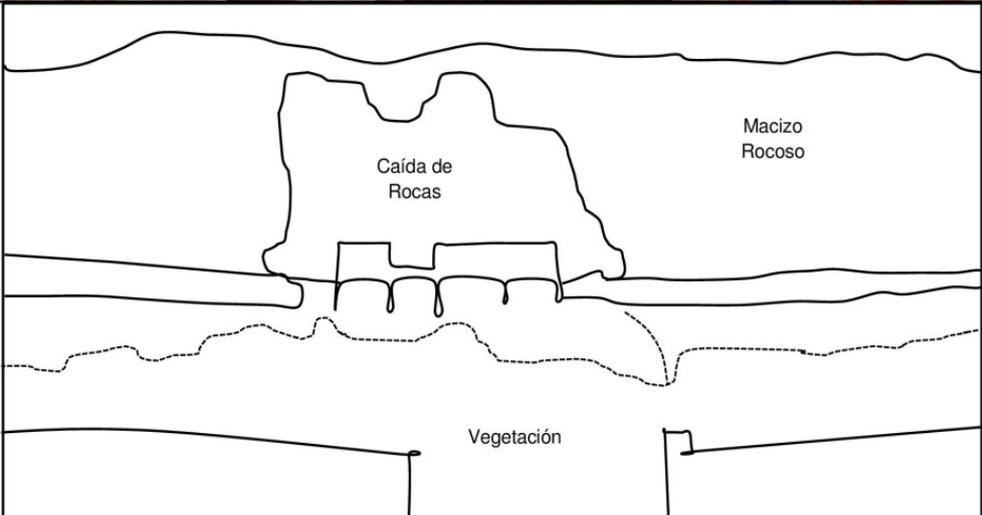
ANEXO 2

Inventario de Eventos Geodinámicos presentes en el Área Urbana de Carapongo

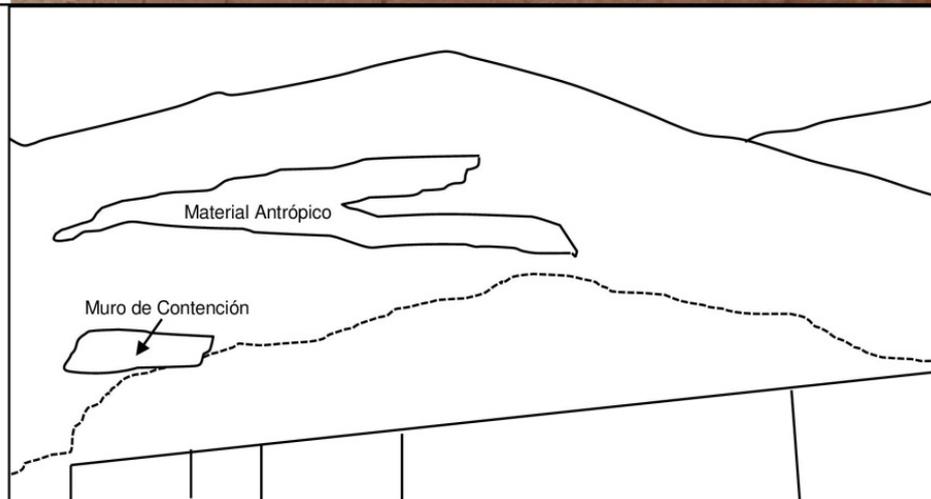
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 01						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8671750 m	ESTE	293283 m	ELEVACIÓN	411 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	5 m x 50m		ESPESOR	0.5 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	60°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
Rocas de tamaño de 5" de diámetro aprox.						
NT = No tiene						

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
CARAP - 02							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA		DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8671682 m	ESTE	293546 m	ELEVACIÓN	404 m.s.n.m.	
FECHA: 09/07/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	20 m x 100m		ESPESOR	1 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable			
OBSERVACIONES:							
Macizo rocoso de gran potencia y roca de mediana calidad. En la parte baja se puede observar rocas sueltas en etapa de desprendimiento.							
NT = No tiene							

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
CARAP - 03					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8671850 m	ESTE	293962 m	ELEVACIÓN
					396 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	10m X 5m		ESPESOR	0.5 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	45°		TIPO DE MATERIAL	Arenas con rocas	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	
OBSERVACIONES:					
Pendiente muy abrupta >60°, escasa vegetación, postes caídos y muros colapsados en la misma quebrada producto del flujo de detritos.					
NT = No tiene					

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 04						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8671868m	ESTE	294039 m	ELEVACIÓN	401 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
 <p>The diagram shows a cross-section of a rocky mass (Macizo Rocoso) with a rockfall (Caída de Rocas) event. Below the rockfall, there is a layer of vegetation (Vegetación) and a dashed line indicating a boundary or rupture surface.</p>						
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	15 m x 30m		ESPESOR	0.5 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	40°		TIPO DE MATERIAL	Arena y rocas		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
Vegetación en la parte baja el cual detiene el flujo, afecta a viviendas aledañas al cerro.						
NT = No tiene						

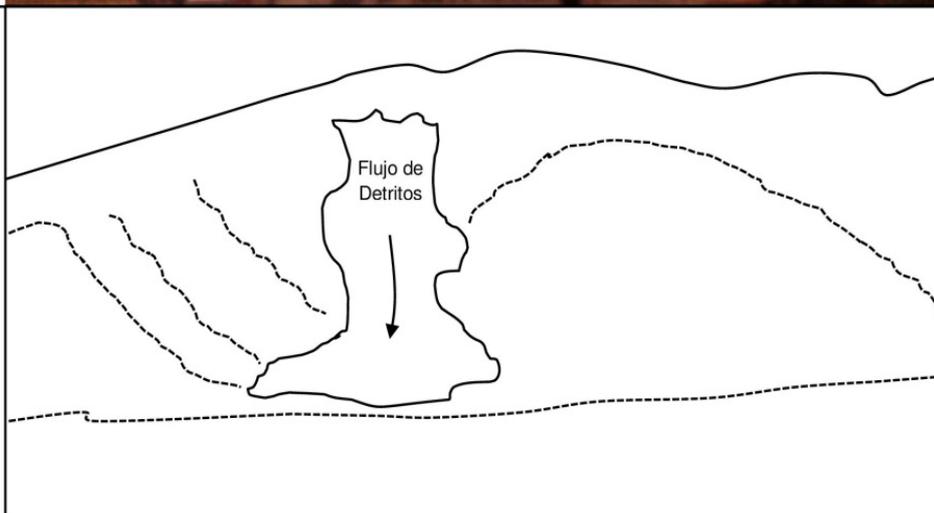
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 05						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8672158 m	ESTE	294257 m	ELEVACIÓN	426 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						



TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas	LITOLOGIA	Volcano sedimentarias
DIMENSIONES (Longitud, altura)	25 m x 10m	ESPESOR	0.30 m
INCLINACIÓN DEL TALUD	50°	TIPO DE MATERIAL	Arenas y rocas
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT	MATRIZ	Variable

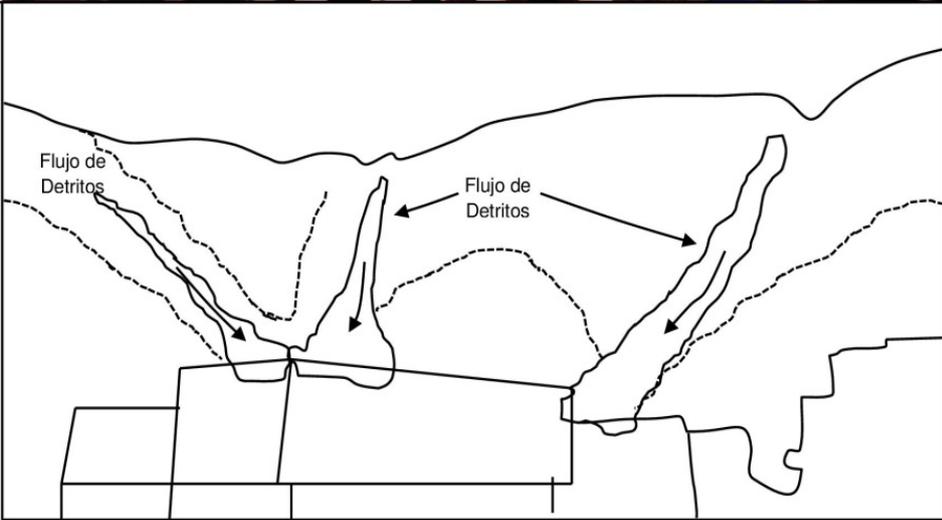
OBSERVACIONES:
No se observa vegetación y las casas están en peligro constante.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS CARAP - 06					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8672282 m	ESTE	294411 m	ELEVACIÓN 425 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012					



TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos	LITOLOGIA	Volcano - sedimentarias
DIMENSIONES (Longitud, altura)	30 m x 50m	ESPEJOR	1 m
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°	TIPO DE MATERIAL	Coluvial
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT	MATRIZ	Variable

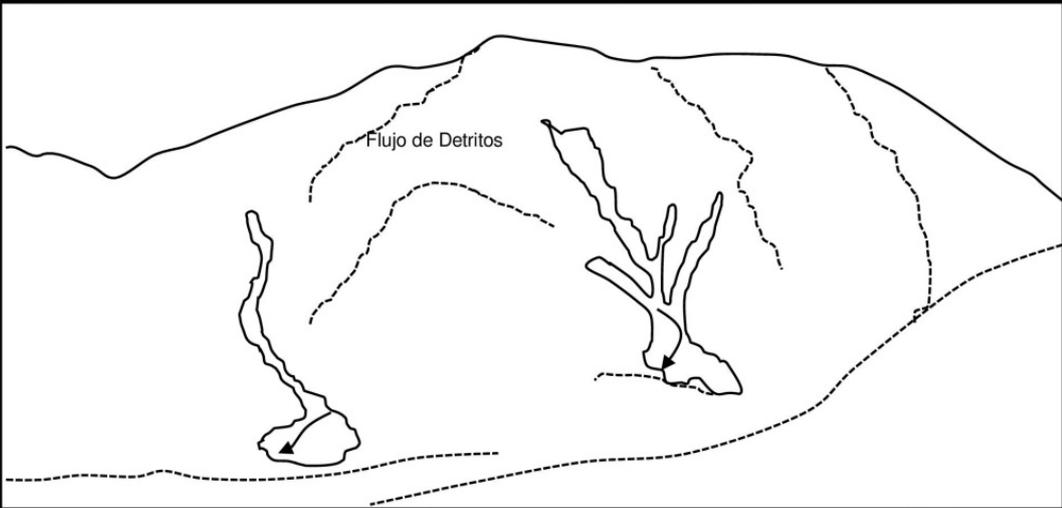
OBSERVACIONES:
NT = No tiene

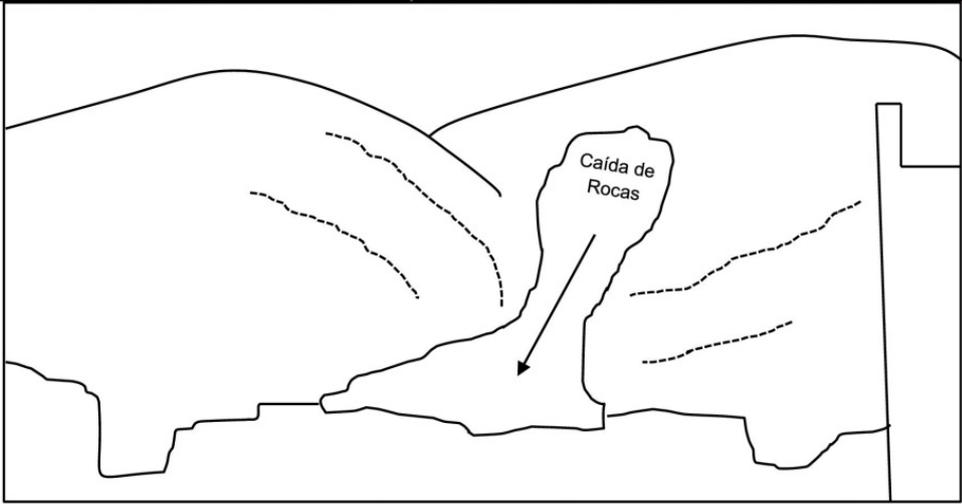
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
CARAP - 07							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA		DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672490 m	ESTE	294909 m	ELEVACIÓN	434 m.s.n.m.	
FECHA: 09/07/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	20 m x 100m		ESPESOR	2 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	>35°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable			

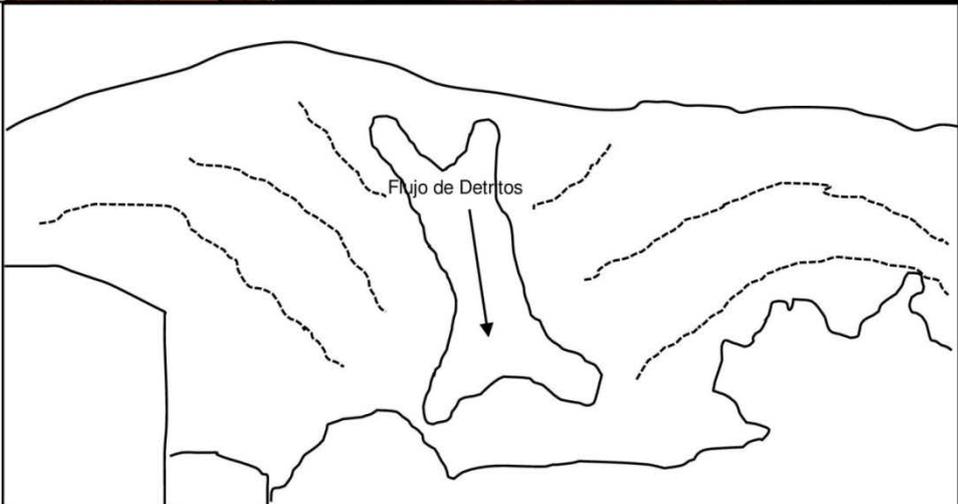
OBSERVACIONES:

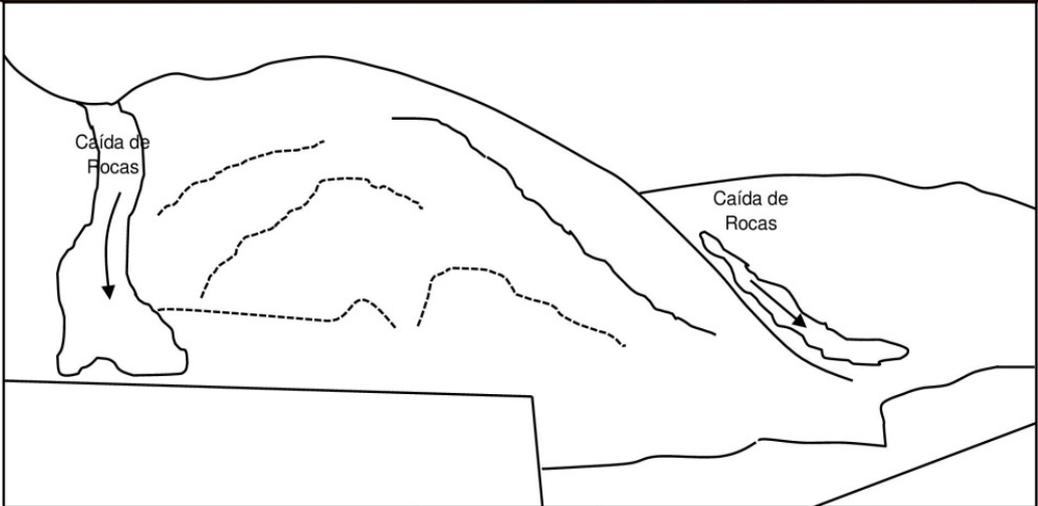
Viviendas asentadas en depósitos de flujos de detritos. Asociado a este tipo de depósitos hay desprendimiento de rocas.

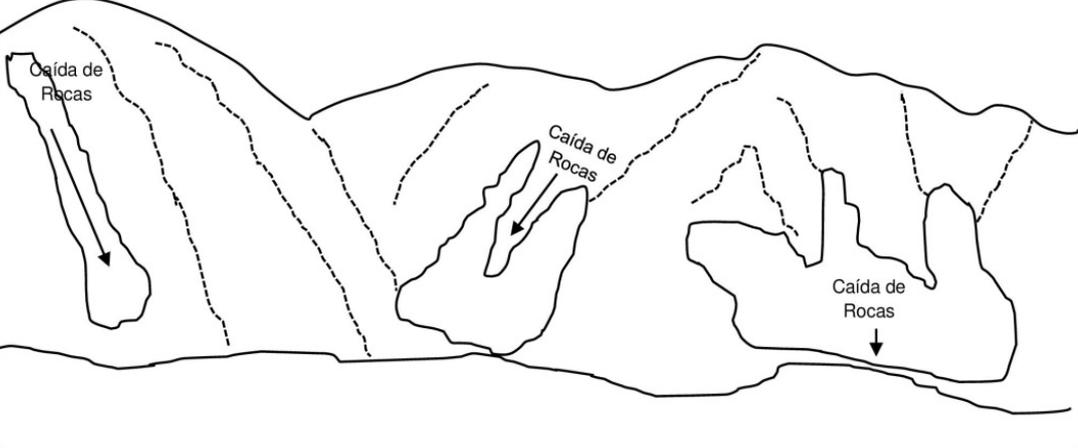
NT = No tiene

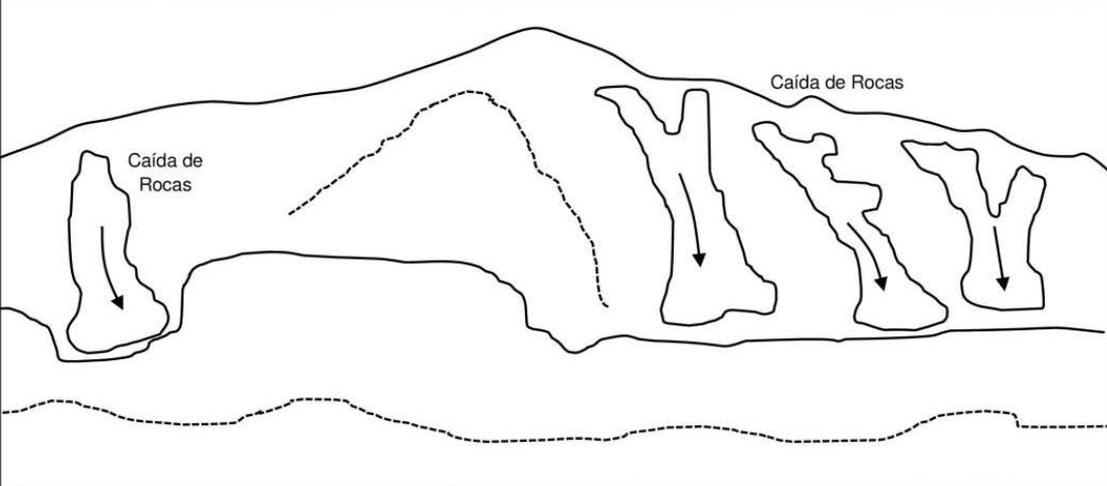
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
CARAP - 08					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8672554 m	ESTE	294914 m	ELEVACIÓN 434 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	10 m x 160m		ESPESOR	2 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	
OBSERVACIONES:					
Viviendas asentadas en depósitos de flujos de detritos. Asociado a este tipo de depósitos hay desprendimiento de rocas.					
NT = No tiene					

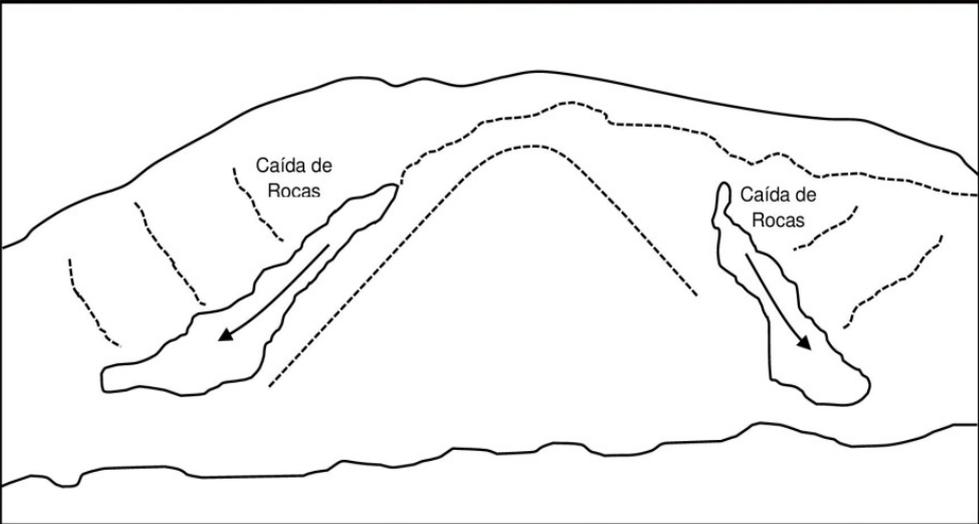
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
CARP - 09					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8672746 m	ESTE	295312 m	ELEVACIÓN 446 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	25 m x 200m		ESPESOR	2 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	
OBSERVACIONES:					
Macizo rocoso medianamente compacto.					
NT = No tiene					

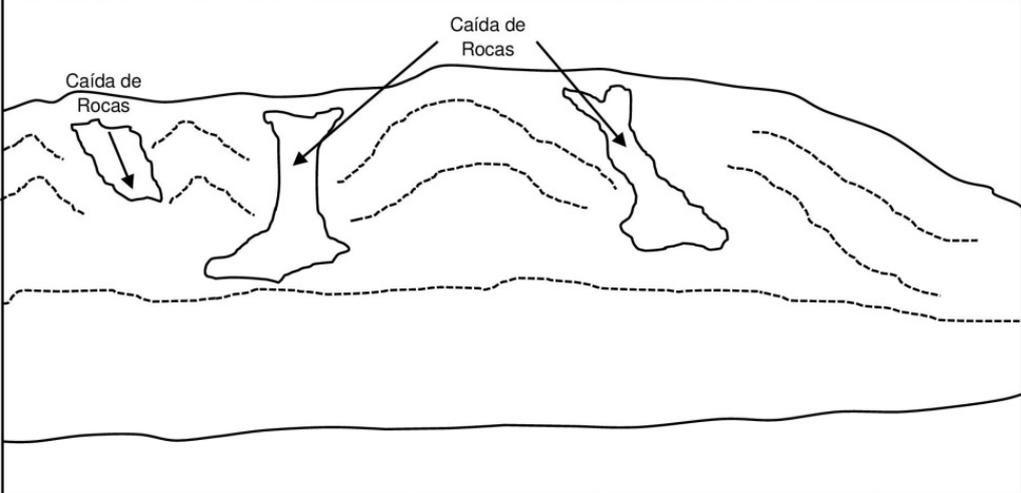
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 10						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8672758 m	ESTE	295376 m	ELEVACIÓN	441 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	30 m x 200m		ESPESOR	0.5 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
El depósito de flujos presenta un escaso espesor.						
NT = No tiene						

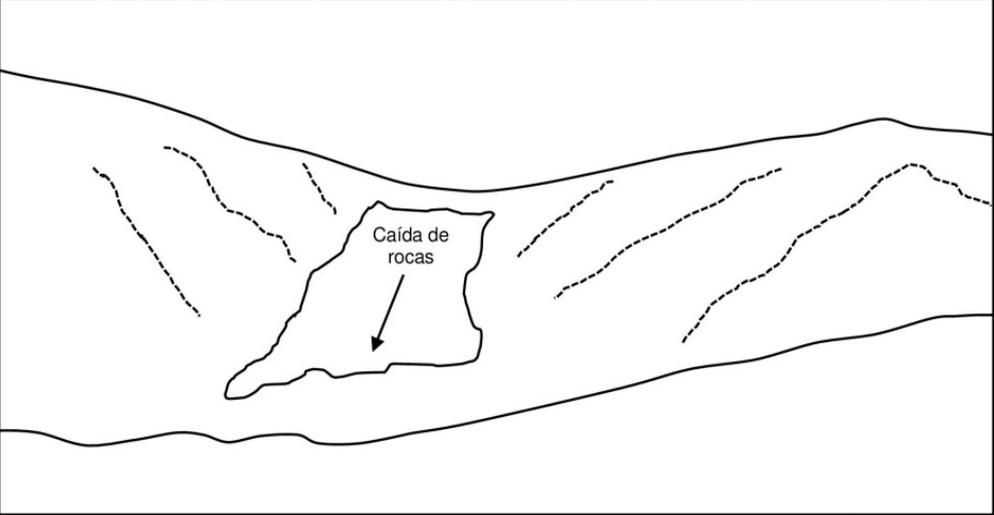
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 11						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8672750 m	ESTE	295389 m	ELEVACIÓN	443 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	10 m x 40m		ESPESOR	2 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
Rocas de 6" con arena. Pendiente fuerte.						
NT = No tiene						

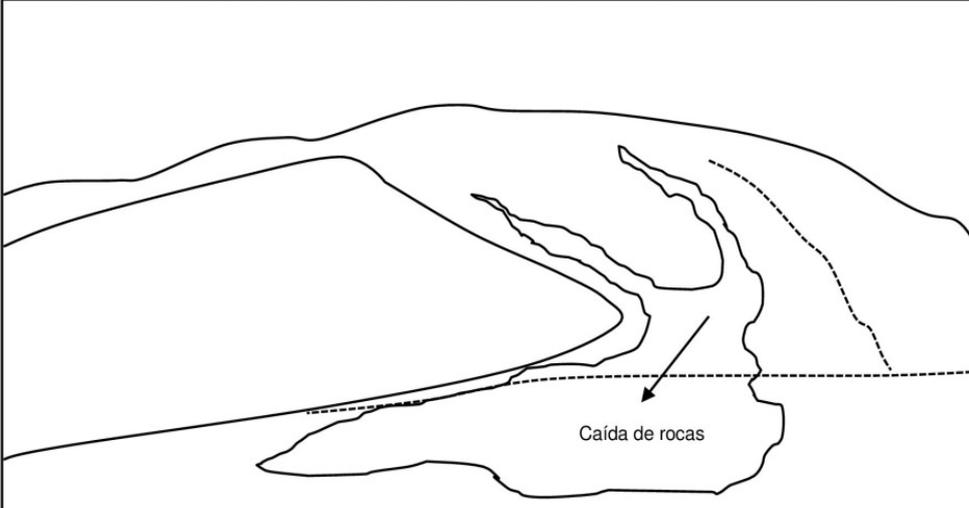
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 12						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8672758 m	ESTE	295528 m	ELEVACIÓN	458 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	4 m x 30m		ESPESOR	2 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
Depósito de arena con rocas de 6" producto de la caída de rocas. Pendiente pronunciada						
NT = No tiene						

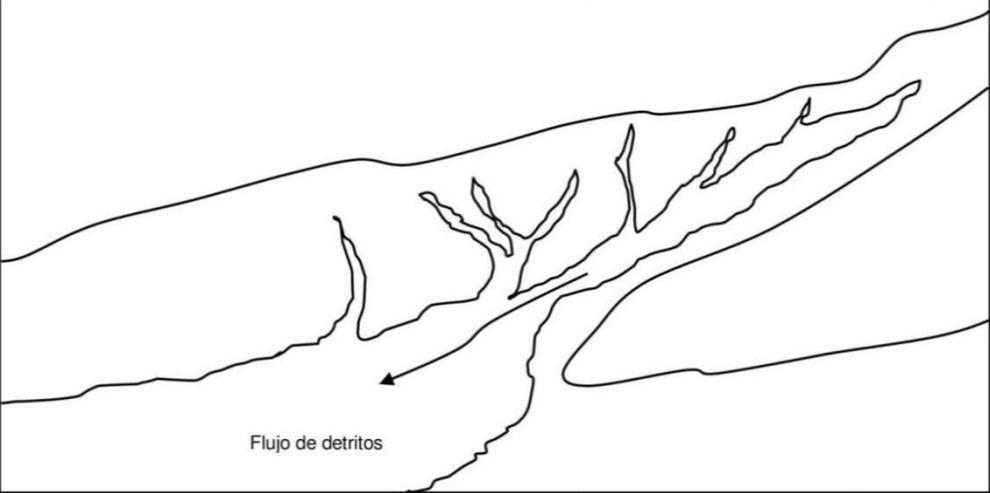
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
CARAP - 13							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672712 m	ESTE	295894 m	ELEVACIÓN	452 m.s.n.m.	
FECHA: 09/07/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	10 m x 40m		ESPESOR	2 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable			
OBSERVACIONES:							
El desplazamiento de las rocas es mayor al momento de la caída por presentar Pendiente fuerte.							
NT = No tiene							

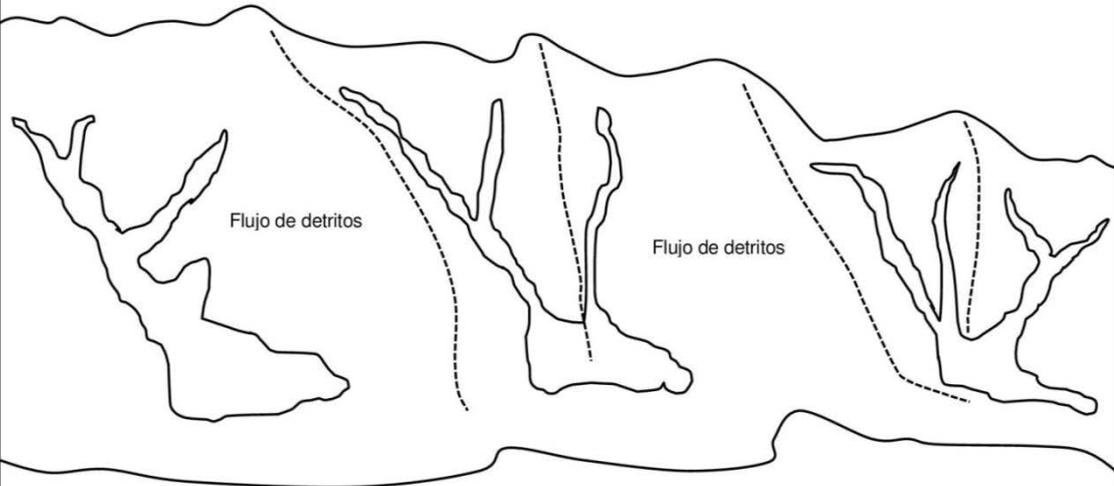
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
CARAP - 14					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8672926 m	ESTE	296842 m	ELEVACIÓN 483 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	25 m x 180m		ESPESOR	2 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	
OBSERVACIONES:					
Rocas de tamaño de 10" de diámetro aprox.					
NT = No tiene					

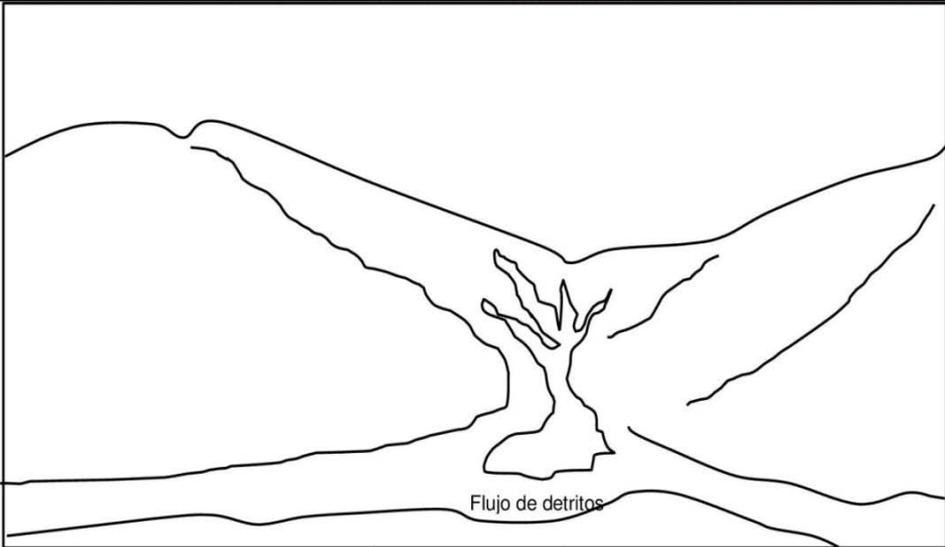
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
CARAP - 15							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA		DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672768 m	ESTE	297313 m	ELEVACIÓN	469 m.s.n.m.	
FECHA: 09/07/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	5 m x 20m		ESPEJOR	1 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable			
OBSERVACIONES:							
Macizo rocoso de gran potencia y roca de calidad buena. En la parte baja se observa rocas sueltas posibles a desprendimiento							
NT = No tiene							

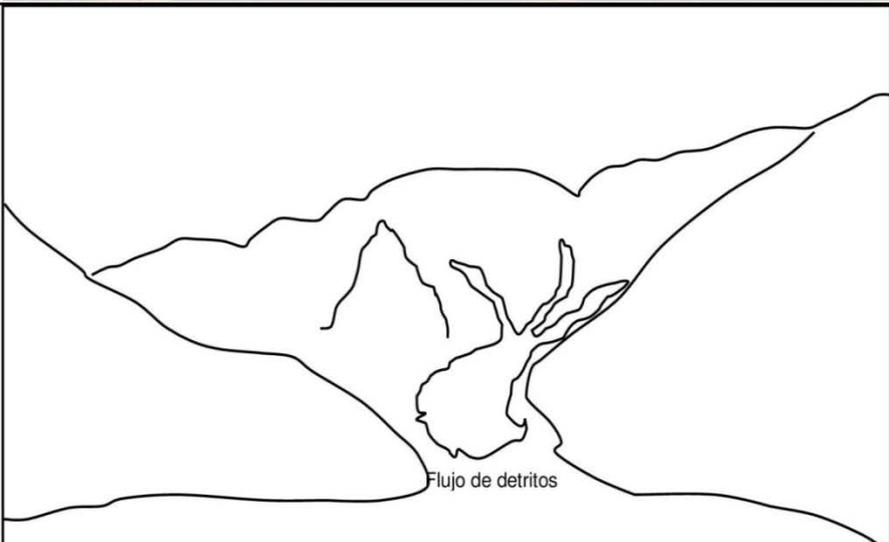
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
CARAP - 16							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA		DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672800 m	ESTE	297698 m	ELEVACIÓN	442 m.s.n.m.	
FECHA: 09/07/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	10 m x 15m		ESPESOR	2 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable			
OBSERVACIONES:							
Desprendimiento de rocas con pendiente moderada. Área arqueológica declarada por el INC.							
NT = No tiene							

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
CARAP - 17					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8673498 m	ESTE	298075 m	ELEVACIÓN 549 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	40 m x 100m		ESPESOR	5 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	
OBSERVACIONES:					
Asociado a flujo de detritos en la parte izquierda.					
NT = No tiene					

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 18						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8673436 m	ESTE	298073 m	ELEVACIÓN	541 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	20 m x 70m		ESPESOR	3 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
Parte del depósito de flujo de detritos es acarreado para expandir la Urb. Las terrazas.						
NT = No tiene						

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 19						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8673438 m	ESTE	298338 m	ELEVACIÓN	531 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	7 m x 250m		ESPEJOR	2 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
Asociado a los depósitos de flujos se encuentra asociado caída de rocas, pendiente media que afecta a viviendas aledañas al cerro.						
NT = No tiene						

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
CARAP - 20							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA		DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672919 m	ESTE	299014 m	ELEVACIÓN	509 m.s.n.m.	
FECHA: 09/07/2012							
							
 <p style="text-align: center;">Flujo de detritos</p>							
TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	3 m x 100m		ESPESOR	2 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable			
OBSERVACIONES:							
Flujo que afecta a zona arqueológica declarada por el INC.							
NT = No tiene							

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
CARAP - 21						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	LURIGANCHO - CHOSICA
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8674916 m	ESTE	299771 m	ELEVACIÓN	607 m.s.n.m.
FECHA: 09/07/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de detritos		LITOLOGIA	Volcano sedimentarias		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	20 m x 70m		ESPESOR	2 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:						
Viviendas asentadas en la parte baja del depósito de flujo de detritos. Pendiente media.						
NT = No tiene						